

# Integrated chemical processing apparatus and processes for the preparation thereof

Publication number: DE69413012 (T2)

Publication date: 1999-03-25

Inventor(s): ASHMEAD JAMES [US]; BLAISDELL CHARLES [US]; JOHNSON MELVIN [US]; NYQUIST JACK [US]; PERROTTO JOSEPH [US]; RYLEY JAMES [US] +

Applicant(s): DU PONT [US] +

Classification:

- International: B01J12/00; B01F5/06; B01F13/00; B01J14/00; B01J19/00; B01J19/12; B01J35/04; B01L3/00; C07F7/12; F28D9/00; F28F27/02; G01N37/00; B01L7/00; G01N30/60; G01N30/88; B01J12/00; B01F5/06; B01F13/00; B01J14/00; B01J19/00; B01J19/12; B01J35/00; B01L3/00; C07F7/00; F28D9/00; F28F27/00; G01N37/00; B01L7/00; G01N30/00; (IPC1-7); B01J19/00; B01J12/00; B01J14/00; B01J19/12; B01J35/04; B01L3/00

- European: F28F9/02S8; B01F5/06B2B; B01F13/00M; B01J19/00G; B01J19/00R; B01J19/12D2; B01J35/04; B01L3/00C6M; F28D9/00F4B

Application number: DE19946013012T 19940316

Priority number(s): US19930033915 19930319; US19930161379 19931202; WO1994US02845 19940316

## Also published as:

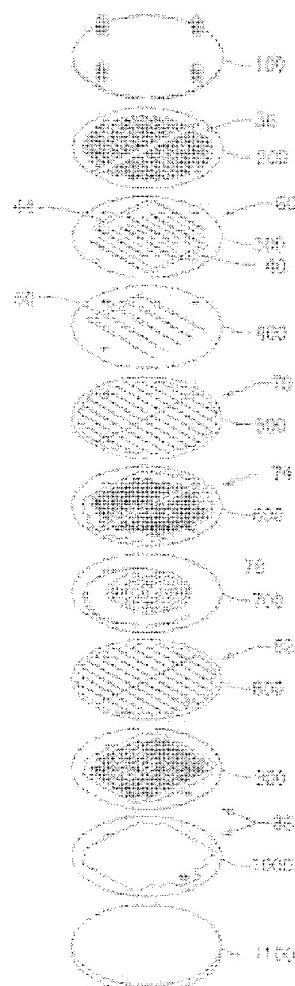
- US5690763 (A)
- WO9421372 (A1)
- JP8508197 (T)
- EP0688242 (A1)
- EP0688242 (B1)

[more >>](#)

Abstract not available for DE 69413012 (T2)

Abstract of corresponding document: **US 5690763 (A)**

An integral structure is provided for chemical processing and manufacture, in which a plurality of laminae are joined together and having inlet and outlet ports connected by a three dimensionally tortuous channel. Chemicals are introduced through the inlet ports and processed along the channel, with desirable product withdrawn through the outlet ports. The laminae are of materials selected to be compatible with the chemical process, from the group consisting of elements of groups III, IV or V of the Periodic Table, ceramics, glasses, polymers, composites and metals. Processes of manufacture of the apparatus and processes utilizing the apparatus are also disclosed herein.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide



(12) Übersetzung der  
europäischen Patentschrift  
(87) EP 0688 242 B 1  
(10) DE 694 13 012 T 2

(51) Int. Cl. 6:  
B 01 J 19/00  
B 01 J 19/12  
B 01 J 12/00  
B 01 J 14/00  
B 01 J 35/04  
B 01 L 3/00

DEUTSCHES

PATENT- UND  
MARKENAMT

- (21) Deutsches Aktenzeichen: 694 13 012.5  
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US94/02845  
(86) Europäisches Aktenzeichen: 94 911 620.6  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 94/21372  
(86) PCT-Anmeldetag: 16. 3. 94  
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 29. 9. 94  
(87) Erstveröffentlichung durch das EPA: 27. 12. 95  
(87) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 2. 9. 98  
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 25. 3. 99

(30) Unionspriorität:

33915 19. 03. 93 US  
161379 02. 12. 93 US

(73) Patentinhaber:

E.I. du Pont de Nemours and Co., Wilmington, Del.,  
US

(74) Vertreter:

Serwe, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 54290 Trier

(84) Benannte Vertragstaaten:

CH, DE, FR, GB, LI, NL

(72) Erfinder:

ASHMEAD, James, William, Middletown, DE  
19709-9502, US; BLAISDELL, Charles, Thomas,  
Middletown, DE 19709, US; JOHNSON, Melvin,  
Harry, Chadds Ford, PA 19317, US; NYQUIST, Jack,  
Kent, Chadds Ford, PA 19317, US; PERROTTO,  
Joseph, Anthony, Landenberg, PA 19350, US;  
RYLEY, James, Francis, Jr., Drexel Hill, PA 19026,  
US

(54) INTEGRIERTE VORRICHTUNG FÜR CHEMISCHE VERFAHRENSSCHRITTE UND HERSTELLUNGSVERFAHREN  
DAFÜR

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine miniaturisierte Vorrichtung für die chemische Verarbeitung, die Einheiten für die chemische Verarbeitung zu einer integralen Struktur integriert, und auf Produktionsprozesse. Insbesondere hat die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung für die chemische Verarbeitung zum Ziel, die durch eine verbesserte Genauigkeit der Steuerung der Verarbeitungsparameter für die hindurchgehenden chemischen Stoffe, eine erhöhte Betriebssicherheit, und eine verringerte Kapitalinvestition gekennzeichnet ist.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Um eine wirksame chemische Verarbeitung und Produktion zu erreichen, ist es erforderlich, eine Reihe von Verarbeitungsparametern, wie die Temperatur, der Druck, die Mischbedingungen, die Einwirkung des Katalysatormaterials auf die Reaktionspartner, und die Einwirkung von aktinischer Strahlung auf die Reaktionspartner, sowie die Bedingungen, um eine Abscheidung der Reaktionsprodukte zu erreichen, genau zu steuern.

Die herkömmlichen Verarbeitungsausrüstungen weisen eine Reihe von Nachteilen auf. In der chemischen Industrie wurde schon lange erkannt, daß die Übertragung von der Größenordnung des Labors auf die Größenordnung der kommerziellen Produktion schwierig ist. Die im Labor erzielten Ergebnisse sind bei den Produktionsraten in Produktions-einrichtungen oft schwierig zu erreichen. Die herkömmliche Weisheit der "Wirtschaftlichkeit der Größenordnung" basiert auf wirtschaftlichen Überlegungen, die die Produktionsrate (Produkteinheiten pro Zeiteinheit) zu der Kapitalinvestition in Beziehung setzen. Diese herkömmliche Methode hat eine geringere Genauigkeit als die optimale Genauigkeit bei der Steuerung der chemischen Verarbeitung zur Folge.

Herkömmliche Ausrüstungen für die chemische Verarbeitung enthalten gewöhnlich ein relativ großes Volumen von Materialien, und haben folglich ein relativ großes Volumen/Oberfläche-Verhältnis. Es ist daher wahrscheinlich, daß verschiedene Bereiche der in einer solchen Ausrüstung enthaltenen Reaktionspartner-Materialien verschiedenen Geschichten der Bedingungen ausgesetzt werden. In dem Fall eines herkömmlichen Tankreaktors können zum Beispiel, selbst wenn die Temperaturbedingungen an den Wänden des Reaktors gut gesteuert werden, die Bereiche der Reaktionspartner, die nicht in nächster Nähe der Wände liegen, verschiedene Temperaturgeschichten erfahren, besonders wenn ein signifikanter Temperaturgradient vorhanden ist, was vorkommen kann, wenn die chemische Reaktion stark exotherm ist. Schnelles Rühren der Reaktionspartner kann diesen Temperaturgeschichteunterschied verringern, aber wird ihn nicht beseitigen. Infolge der nicht-homogenen Temperaturgeschichte können verschiedene Bereiche der Reaktionspartner auf verschiedene Weise chemisch reagieren. In Bereichen der Reaktionspartner, die Geschichten mit höheren als den gewünschten Temperaturen ausgesetzt sind, können unerwünschte Reaktionen vorkommen. Dies kann die Produktion von unerwünschten Abfallprodukten zur Folge haben, die gefährlich sein können, und die in geeigneter Weise beseitigt werden müssen. In extremen Situationen können sich die Reaktionsraten bis zu unkontrollierbaren Niveaus beschleunigen, was Sicherheitsgefahren, wie eventuelle Explosionen, hervorrufen kann.

Wenn jedoch das Volumen/Oberfläche-Verhältnis der Verarbeitungsvorrichtung wesentlich verringert wird, kann der Genauigkeitsgrad der Steuerung der Homogenität der Temperaturgeschichte der Reaktionspartner wesentlich verbessert werden.

Es wurde erkannt, daß ein hoher Grad der Strömungsturbulenz eine rasche Mischung von zwei oder mehr Reaktionspartnern begünstigt. Eine rasche Mischung ist für schnell ablaufende chemische Reaktionen wichtig. Es ist auch bekannt, daß ein hoher Grad der Turbulenz die Wärmeübertragung begünstigt. Folglich ist eine Struktur, die sowohl ein niedriges Volumen/Oberfläche-Verhältnis, als auch einen hohen Grad der Strömungsturbulenz hat, besonders vorteilhaft für eine genaue Steuerung der chemischen Verarbeitung.

Individuelle Einheiten, wie miniaturisierte chemische Reaktoren, wurden, wie in DE 3926466, aus einem Stapel gerillter Metallplatten hergestellt. Es ist auch bekannt, daß Wärmeaustauscher aus einem Stapel gerillter Metallfolien oder Metallplatten, oder aus auf Glasplatten aufgeklebten, gerillten Siliziumscheiben hergestellt werden können. Die Herstellung von kleinen, genauen, inneren Kanälen in Strukturen war bisher schwierig. Es gelang jedoch mit Metallbearbeitungsmaschinen-Werkzeugen mit Diamantspitze, die infolge der Beschränkungen, die durch die Herstellungstechniken auferlegt werden, hauptsächlich auf gerade Kanäle begrenzt sind. Solche Strukturen haben gewöhnlich eine Vielzahl von in geringem Abstand voneinander angeordneten, geraden, parallelen Rillen mit einem Verteileranschluß an jedem Ende der Rillen. Bei solchen Strukturen mit geraden Rillen werden jedoch in der Gemischströmung nicht die Mischraten und der Turbulenzgrad erreicht, der als notwendig für sehr schnelle chemische Reaktionen angesehen werden.

Mischereinheiten, die eine sehr turbulente Strömung haben, wurden gebaut, indem die gewünschten Durchgänge und Kammern mittels herkömmlicher Metallbearbeitungstechniken in Metallplatten maschinell verwirklicht wurden, und dann die Platten zu einem Stapel zusammengebaut wurden, und der Stapel entweder zusammengeklammert wurde, oder dauerhaft verbunden wurde, wie durch Schweißen oder Löten. Ein Beispiel ist das US-Patent 3701619. Da die herkömmlichen Werkzeugmaschinentechniken nicht gut angepaßt sind, um komplexe miniaturisierte Strukturen wirtschaftlich herzustellen, können mit solchen Strukturen nicht besonders niedrige Volumen/Oberfläche-Verhältnisse erreicht werden. Solche Vorrichtungen sind individuelle Einheiten und nicht integrale Strukturen für die chemische Verarbeitung und Produktion.

Die Materialien für den Bau von herkömmlichen Vorrichtungen für die chemische Verarbeitung, wie Stahl und spezielle Eisenlegierungen, können außerdem für Korrosion und Abnutzung anfällig sein, unerwünschte Wirkungen auf die katalytische Wirksamkeit haben, oder einen Katalysator "vergiften". Die Vorrichtung der vorliegenden Erfindung kann aus einer Reihe von Materialien hergestellt werden, die so ausgewählt sind, daß sie mit dem chemischen Prozeß kompatibel sind. Einige der spezifischen Techniken, die verwendet werden, um die Vorrichtung herzustellen, sind von dem ausgewählten Material abhängig.

Gemäß der vorliegenden Erfindung können eine oder mehr Grundoperationen mit Sensoren und Steuerelementen integriert werden, um die Erfordernisse einer spezifischen chemischen Reaktion zu erfüllen. Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß sie im Labor wirtschaftlich verwendet werden kann, um eine Reihe von genauen Größen eines bestimmten Elements oder einer bestimmten Betriebseinheit zu machen, mit denen die grundlegenden chemischen Reaktionen ausgeführt werden, um die optimalen Betriebsparameter der für die kommerzielle Volumenproduktion vorgesehenen Version der integrierten chemischen Verarbeitungseinheit zu bestimmen. Ein zusätzliches Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß sie ermöglicht, Multiphasenmaterialien zu verarbeiten. Die Vorteile der vorliegenden Erfindung umfassen die Beseitigung vieler Verbindungen und Verbindungs-

stellen, wodurch das Potential für Lecks verringert wird. Diese und weitere Ziele, Merkmale und Vorteile werden aufgrund der folgenden Beschreibung der Erfindung besser verständlich werden.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

5 Gemäß der vorliegenden Erfindung weist eine integrale Struktur zur chemischen Verarbeitung und Produktion eine Vielzahl von miteinander verbundenen Plättchen auf, mit mindestens einer Einlaßöffnung und mindestens einer Auslaßöffnung, die darin gebildet sind, für die Aufnahme und Abgabe von chemischen Stoffen, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das wegen seiner Kompatibilität mit dem chemischen Prozeß ausgewählt wurde, und  
10 mit mindestens einen hindurchgehenden, dreidimensional gewundenen Kanal, der zwischen benachbarten Plättchen genau orientiert ist, um die zu verarbeitenden chemischen Stoffe aufzunehmen, wobei der Kanal mit den Einlaß- und Auslaßöffnungen verbunden ist und längs einem oder mehr Plättchen kontinuierlich ist, und längs einem oder mehr anderen Plättchen diskontinuierlich ist, und der diskontinuierliche Kanal zwischen benachbarten Plättchen  
15 kontinuierlich ausgerichtet ist, um einen kontinuierlichen, hindurchgehenden Pfad zu bilden, und konfiguriert ist, um mit Mitteln zusammenzuwirken, die mindestens eine Grundoperation ausführen, und die positioniert sind, um eine gewünschte Steuerung zu bewirken, so daß die chemischen Stoffe verarbeitet werden.

Der gewundene Kanal mißt im Querschnitt in wünschenswerter Weise zwischen 10 und  
20 5000 Mikrometer.

Typisch für Materialien, die für Hochtemperatur-Oxydationsreaktionen, wie die Oxydation von Salzsäure (HCl), bei der Chlor (Cl) und Wasser (H<sub>2</sub>O) entstehen, geeignet sind, sind Materialien aus den Gruppen III, IV und V des periodischen Systems, wie Silizium. Typisch für Materialien, die sich als geeignet für Fluorierungsreaktionen, wie die Fluorierung von CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>Cl, bei der CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F entsteht, erwiesen haben, sind keramische Materialien, wie Siliziumkarbid, Wolframkarbid, Aluminiumoxid und Saphir. Typisch für Materialien, die für Photoreaktionen, wie die Photochlorierung von Dichlordimethylsilan (DCDMS), geeignet sind, sind Glasmaterialien, wie Quarzglas, reines Silikaglas und Borsilikatglas. Typisch für Materialien, die sich als geeignet für Bioreaktionen, wie die proteolytische enzymatische Umwandlung von Proteinen in andere Substanzen erwiesen haben, sind Polymere, wie Polystyrol, Polyester, Polyamid und Polytetrafluorethylen. Typisch für Materialien, die für Hochdruckprozeßbedingungen geeignet sind, sind Verbundmaterialien, wie faserverstärkte Polymere und keramische Materialien. Typisch für Materialien, die für weniger anspruchsvolle Prozeßbedingungen geeignet sind, sind Metalle.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der integralen Struktur sind die Plättchen angeordnet, um eine Vielzahl von Grundoperationen aufzunehmen. Außerdem ist der Kanal zwischen benachbarten Plättchen genau orientiert. Diese Kanäle können kontinuierlich oder diskontinuierlich längs der Plättchen der integralen Struktur sein. Diskontinuierliche Kanäle sind zwischen benachbarten Plättchen kontinuierlich ausgerichtet, was ausreicht, um einen kontinuierlichen, hindurchgehenden Pfad zu bilden.

Die integrale Struktur der Erfindung kann gemäß dem folgenden Prozeß hergestellt werden, der die nachstehenden Schritte aufweist:

(a) Zunächst wird eine Vielzahl von Plättchen verarbeitet, von denen jedes einen oberen Bereich und einen unteren Bereich und eine gewünschte Dicke hat, die ausreicht, um gewünschte Pfade auf dem Plättchen oder durch das Plättchen hindurch zu bilden.

(b) Die Plättchen werden bei genauer Ausrichtung so gestapelt und miteinander verbunden, daß sie mindestens eine darin gebildete Einlaßöffnung und mindestens eine darin gebildete Auslaßöffnung für die Aufnahme und die Abgabe von chemischen Stoffen umfassen. Die Pfade bilden mindestens einen dreidimensional gewundenen, hindurchgehenden Kanal, um zu verarbeitende chemische Stoffe aufzunehmen. Dieser Kanal, der in wünschenswerter Weise im Querschnitt zwischen 10 und 5000 mißt, ist mit der Einlaß- und der Auslaßöffnung verbunden. Die Plättchen weisen ein Material auf, das so ausgewählt ist, daß es mit dem spezifischen chemischen Prozeß kompatibel ist.

(c) Schließlich werden ein oder mehr Mittel, die mindestens eine Grundoperation ausführen, positioniert, um eine gewünschte Steuerung zu bewirken, so daß die chemischen Stoffe verarbeitet werden.

Die Verarbeitung der Plättchen, um Pfade zu bilden, kann nach einem Verfahren ausgeführt werden, das aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: Subtraktive Prozesse, aufweisend chemisches Ätzen (wie verwendet wird, um Wafer aus Halbleitermaterial zu verarbeiten), elektrochemische Bearbeitung, Bearbeitung durch elektrochemische Entladung, Laserablation, Bohren und Schneiden, abrasives Schleifen, und Schneiden mit einer einzelnen Diamantspitze (wie verwendet wird, um keramische Teile herzustellen); additive Prozesse, aufweisend Ablagerungsprozesse, wie Elektroformen, selektives Plattieren, chemische Gasphasenabscheidung, lithographisches Stereo-Photoformen, und Schweißen; und Formprozesse, wie Preßformen, Gießen und Stanzen. Abnutzungsfeste Beschichtungen in Form von dünnen Filmen können wahlweise vor dem Verbinden auf die verarbeiteten Plättchen aufgebracht werden.

Bei dem Prozeß zum Herstellen der integralen Struktur bilden die Pfade auf einander gegenüberliegenden Oberflächen von benachbarten Plättchen in der Ebene der Plättchen Durchgänge durch die Struktur, die die gewünschte Querschnittsfläche haben. Diese ebenen Durchgänge sind miteinander verbunden, und außerdem mit zu der Ebene der Plättchen orthogonalen Durchgängen verbunden, die durch ein oder mehr Plättchen hindurchgehen, um Durchgänge zu bilden, die die gewünschten insgesamt dreidimensionalen, gewundenen Formen haben. Der Ausdruck "dreidimensionale, gewundene Formen", wie er hier verwendet wird, soll das Merkmal umfassen, daß die Durchgänge sich gabeln, sich verzweigen, sich schneiden, oder sich wieder vereinigen können, und eine konstante oder veränderliche Querschnittsform und Größe haben können, um die gewünschten Strömungsmerkmale der hindurchströmenden chemischen Stoffe zu erhalten.

Die oben beschriebene Vorrichtung kann bei einer Methode zur chemischen Verarbeitung und Produktion verwendet werden. Die Methode weist folgende Schritte auf:

(a) Einleiten von einem oder mehr zu verarbeitenden chemischen Stoffen in die Einlaßöffnung der oben beschriebenen Struktur.

(b) Weiterleiten des einen oder von mehr chemischen Stoffen, damit sie mindestens durch einen gewundenen Kanal hindurchgehen, der speziell ausgelegt ist, um den einen oder mehr chemische Stoffe aufzunehmen;

(c) Koordinieren des Durchgangs des einen oder von mehr chemischen Stoffen durch den gewundenen Kanal mit Mitteln, die mindestens eine der folgenden Grundoperationen bei dem einen oder mehr chemischen Stoffen ausführen:

- A - Mischen,
- 5 B - Wärme Austauschen,
- C - Abscheiden,
- D - katalytisch Reagieren,
- E - nicht-katalytisch Reagieren,
- F - photochemisch Reagieren, und
- 10 G - elektrochemisch Reagieren.

(d) Herausnehmen von einem oder mehr chemischen Stoffen aus der Auslaßöffnung. Diese Verarbeitung ist gekennzeichnet durch die Koordination des Entwurfs des gewundenen Kanals mit den Grundoperationen, die bei dem einen oder mehr zu verarbeitenden chemischen Stoffen ausgeführt werden.

15 Jede dieser Grundoperationen kann einzeln oder in Verbindung mit anderen Grundoperationen in der gleichen Vorrichtung oder in verschiedenen Vorrichtungen ausgeführt werden. Die Strukturen der vorliegenden Erfindung sind für kontinuierlichen oder halbkontinuierlichen Betrieb besonders gut geeignet.

20 Die Erfindung wird besser verständlich werden aufgrund der folgenden ausführlichen Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen, die wie folgt beschrieben werden.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Die Figur 1 ist eine perspektivische Ansicht einer Vorrichtung der vorliegenden Erfindung.

25 Die Figur 2 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der von oben gesehenen Vorrichtung, die die oberen Oberflächen der zur Bildung der Struktur verwendeten Plättchen wiedergibt.

30 Die Figur 3 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der von unten gesehenen Vorrichtung, die die unteren Oberflächen der zur Bildung der Struktur verwendeten Plättchen wiedergibt.

Die Figur 4 ist eine vergrößerte erste Schnittansicht gemäß den Schnittlinien 4-4 der Figur 1.

Die Figur 5 ist eine vergrößerte zweite Schnittansicht gemäß den Schnittlinien 5-5 der Figur 1.

35 Die Figur 6 ist eine explodierte perspektivische Ansicht eines Bereichs der Vorrichtung, die die untere Oberfläche eines ersten Plättchens und die obere Oberfläche des zweiten Plättchens wiedergibt, wobei eine typische Anordnung von Zwischenraumkanälen und eines Metallisierungsmusters, das ein elektrisches Heizelement bildet, zu sehen ist.

40 Die Figur 7 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines zweiten Plättchens der Vorrichtung und der Oberseite eines dritten Plättchens der

Vorrichtung, wobei die Anordnung von Pfaden, die eine Anordnung von Mischelementen und einen Verteileranschuß bilden, zu sehen ist.

Die Figur 7A ist eine vergrößerte perspektivische Ansicht eines Bereichs der Figur 7, die die Anordnung von Pfaden, die die Kombination aus einem einzelnen T-Mischer und einem einzelnen, schlangenförmigen Mischelement bilden, wiedergibt.

Die Figur 8 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines dritten Plättchens der Vorrichtung und der Oberseite eines vierten Plättchens der Vorrichtung, die die Anordnung von Pfaden, die einen Sammleranschuß bilden, wiedergibt.

Die Figur 9 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines vierten Plättchens und der Oberseite eines fünften Plättchens der Vorrichtung, die die Anordnung von Pfaden, die eine erste thermische Barriere bilden, wiedergibt.

Die Figur 10 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines fünften Plättchens und der Oberseite eines sechsten Plättchens der Vorrichtung, die die Anordnung von Pfaden, die eine erste Wärmeaustauschereinheit bilden, wiedergibt.

Die Figur 11 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines sechsten Plättchens und der Oberseite eines siebten Plättchens, die die Anordnung von Pfaden, die eine spiralförmige Abscheidereinheit bilden, wiedergibt.

Die Figur 12 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines siebten Plättchens und der Oberseite eines achten Plättchens der Vorrichtung, die die Anordnung von Pfaden, die eine zweite thermische Barriere bilden, wiedergibt.

Die Figur 13 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines achten Plättchens und der Oberseite eines neunten Plättchens der Vorrichtung, die die Anordnung von Pfaden, die einen ersten Teil einer zweiten Wärmeaustauschereinheit bilden, wiedergibt.

Die Figur 14 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines neunten Plättchens und der Oberseite eines zehnten Plättchens, die die Anordnung von Pfaden, die einen zweiten Teil einer zweiten Wärmeaustauschereinheit bilden, wiedergibt.

Die Figur 15 ist eine explodierte perspektivische Ansicht der Unterseite eines zehnten Plättchens und der Oberseite eines elften Plättchens, die die Anordnung von Pfaden, die eine Photoreaktoreinheit mit spiralförmigem Pfad bilden, wiedergibt.

Die Figur 16 ist eine explodierte perspektivische Ansicht einer ersten alternativen Anordnung auf der Unterseite eines zehnten Plättchens und der Oberseite eines elften Plättchens, die eine Anordnung von Pfaden, die eine katalytische Reaktionskammer bilden, wiedergibt.

Die Figur 17 ist eine explodierte perspektivische Ansicht einer zweiten alternativen Anordnung auf der Unterseite eines zehnten Plättchens und der Oberseite eines elften Plättchens, die eine Anordnung von Pfaden, die eine elektrochemische Reaktionskammer bilden, wiedergibt.

#### AUSFÜHLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Es ist charakteristisch für die Vorrichtung der vorliegenden Erfindung, daß sie leicht angepaßt werden kann, um alle oder fast alle chemischen Reaktionen, die man sich vorstellen kann, auszuführen. In Abhängigkeit von den physikalischen und chemischen

Eigenschaften der einzelnen chemischen Stoffe, die verarbeitet werden, oder der zwei oder mehr chemischen Stoffe, die zur Reaktion gebracht werden, kann ein Fachmann auf diesem Gebiet eine Vorrichtung entwerfen, die die erforderliche Größe, die erforderliche Form, und den erforderlichen Durchsatz des gewundenen Kanals, und die erforderliche Anzahl und die erforderliche Geometrie der verschiedenen Plättchen hat. Die Grundoperationsmittel können hinsichtlich ihrer Art und ihrer Lage an die entworfene Vorrichtung angepaßt werden, und damit integriert werden. Schließlich kann, wenn gewünscht, eine Anordnung von Vorrichtungen bei sequentiellem Betrieb und/oder Tandembetrieb miteinander verbunden werden. Infolge der Baumaterialien, der handlichen Größe und der Anpaßbarkeit der integrierten Struktur der vorliegenden Erfindung kann mit einer Pilotanlage oder der kommerziellen Ausführung eines Zielprozesses rascher und bei größerer Flexibilität, weniger Anlaufschwierigkeiten, und einer niedrigeren Kapitalinvestition für Gemeinkosten begonnen werden als bisher. Dies ist alles möglich infolge der besonderen Anpaßbarkeit der Strukturen und der Entwurfsparameter, wodurch fast jeder chemische Prozeß ausgeführt werden kann.

Die vorliegende Erfindung ist gekennzeichnet durch kleine Kanäle mit komplexen, dreidimensionalen Formen, die: (1) einen hohen Grad von Strömungsturbulenz erzeugen können, der das Mischen und die Wärmeübertragung begünstigt; (2) ein sehr kleines Volumen/Oberfläche-Verhältnis haben, das Temperaturgradienten minimiert und die Wärmeübertragung weiter erhöht; und (3) die Verweilzeit der Materialien darin steuern, um eine genauere Temperatursteuerung, und eine gleichmäßige Temperatursgeschichte für jeden Bereich des gesamten Volumens der verarbeiteten Reaktionspartner zu erreichen. Kanäle, die klein genug sind, um die Ausbreitung einer Flamme nicht zuzulassen, können leicht gebildet werden, und so verwendet werden, um potentiell explosive chemische Reaktionspartner sicher zur Reaktion zu bringen.

Die Struktur der vorliegenden Erfindung wird durch einen Mehrschritt-Herstellungsprozeß erreicht. Zunächst wird eine Reihe von ebenen Plättchen oder Wafers verarbeitet, um gewünschte Muster von Pfaden auf einer oder beiden Hauptoberflächen jedes Plättchens oder durch die Dicke des Plättchens hindurch zu bilden. Die Auswahl der Plättchenmaterialien ist von der Kompatibilität mit dem chemischen Prozeß abhängig. Der Ausdruck "Kompatibilität mit dem chemischen Prozeß", wie er hier verwendet wird, umfaßt: Widerstandsfähigkeit gegen chemische Degradation; Betriebsbedingungen, wie Temperatur und Druck; Wärmeleitfähigkeitserfordernisse; erforderliche, bei dem Plättchen zu erzeugende Merkmale, einschließlich Größe, geometrische Form und Genauigkeit; die Abdichtbarkeit des Plättchenmaterials; und wirtschaftliche Überlegungen. Zum Beispiel können ähnliche Wafer wie bei der Herstellung von elektronischen Halbleiterbauelementen, wie Einkristall-Siliziumwafer, verwendet werden. Bei Materialien wie Silizium kann eine Kombination von Techniken, einschließlich chemischem Ätzen, wie es zur Verarbeitung von Wafers aus Halbleitermaterial verwendet wird, und Laserbohren und Laserschneiden, wie es zur Herstellung von keramischen Teilen verwendet wird, verwendet werden, um die Durchgänge zu bilden.

Die Plättchen werden danach bei genauer Ausrichtung gestapelt und dann (zum Beispiel durch thermische Schmelzverbindung, anodische Verbindung, Klebeverbindung, Legierungsverbindung, und Klammern) zu einer integralen Struktur miteinander verbunden. Unter einer "Vielzahl" von Plättchen, wie hier beansprucht wird, wird verstanden, daß die

- integrierte Struktur aus nur zwei Plättchen oder aus mehr Plättchen bestehen kann, die in geeigneter Weise miteinander verbunden sind. Wie bei dem Beispiel der Figur 1 veranschaulicht ist, sind elf Plättchen zu einer Vorrichtung verbunden, wobei das erste und das letzte Plättchen eine äußere Gruppe bilden und die übrigen Plättchen eine innere
- 5 Gruppe bilden. Die äußere Gruppe kann Silizium oder ein Schutzmaterial, wie Metall, Keramik, Verbundmaterial oder Glas sein, während die innere Gruppe Silizium sein kann. Die thermische Schmelzverbindung ist eine bevorzugte Methode zum Verbinden der Plättchen, wenn die innere Gruppe aus Silizium besteht, weil die Festigkeit der erreichten Verbindung nahe bei der Festigkeit der Plättchen selbst liegt.
- 10 Bei der vorliegenden Verbindung werden vorzugsweise Materialien verwendet, die so ausgewählt sind, daß sie kompatibel mit dem spezifischen chemischen Prozeß sind. Die Materialien der Gruppen III, IV und V des periodischen Systems, vorzugsweise die Materialien der Gruppe IVA, und wiederum vorzugsweise Silizium und Germanium, haben sich als kompatibel mit einer Reihe von chemischen Prozessen erwiesen. Bei gewissen chemischen
- 15 Prozessen haben Silizium und ähnliche Materialien zahlreiche Vorteile gegenüber herkömmlichen Reaktormaterialien, wie Stahl und spezielle Metallegierungen, und sie sind besonders widerstandsfähig gegen Korrosion und Abnutzung. Wenn erforderlich, können Oberflächenschichten, wie Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumkarbid oder synthetischer Diamant auf den Plättchen gebildet werden, wodurch die Widerstandsfähigkeit gegen
- 20 Korrosion und Abnutzung erhöht wird.

Silizium und ähnliche Materialien haben eine hohe Wärmeleitfähigkeit, die die Wärmeverteilung begünstigt und gleichmäßige Temperaturen fördert. Silizium hat einen relativ niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten, und verträgt große Temperaturgradienten und rasche Temperaturänderungen. Die hohe Wärmeleitfähigkeit, und die Verträglichkeit von

25 großen Temperaturgradienten kann durch Bildung von evakuierten Kammern innerhalb der Struktur ausgenutzt werden, um thermische Barrieren zu erzeugen, und verschiedene Teile der integrierten Einheit auf verschiedenen Temperaturen zu halten. So können ankommende chemische Reaktionspartner zum Beispiel bei einer niedrigen Temperatur gemischt werden, rasch erhitzt werden und vollständig zur Reaktion gebracht werden, und dann rasch

30 abgekühlt werden, um die Bildung von unerwünschten Verbindungen oder eine thermische Degradation des gewünschten Produktes zu verhindern.

Aufgrund der Verwendung in der Halbleiterelektronikindustrie stehen eine große Anzahl von hochwertigen Materialien und eine lange Geschichte von gut entwickelten Verarbeitungstechniken zur Verfügung. Die einzigartige Möglichkeit, Silizium und anderen

35 Materialien der Gruppen III, IV und V durch Schmelzverbindung miteinander zu verbinden, um eine mehrschichtige, feste, dichte, monolithische Struktur zu bilden, erleichtert die wirtschaftliche Herstellung von komplexen chemischen Verarbeitungsvorrichtungen, die sowohl kompakt, als auch von Natur aus sicher sind, aus einer Vielzahl von einfachen Wafern.

40 Vorrichtungen, um "Grundoperationen" auszuführen, umfassen hier Mischer, Strömungsverteilungskanäle, Wärmeaustauscher, Abscheider, und Reaktionskammern, einschließlich beispielsweise katalytische und nicht-katalytische, photochemische und elektrochemische Reaktionskammern.

45 Die Mittel zur Steuerung der Grundoperationen können bei der vorliegenden integralen Struktur kombiniert werden mit Prozeßüberwachungseinrichtungen, wie

Druckfühler, Temperaturfühler, Strömungsfühler, und Fühler für die chemische Zusammensetzung, und mit Steuereinrichtungen, wie Ventile, Pumpen, und Heiz/Kühl-Vorrichtungen, um die Prozeßparameter wirksam zu steuern. Solche Mittel erfüllen eine spezifische Funktion (allein oder in Kombination mit anderen Mitteln), wie dies bei 5 chemischen Stoffen gewünscht wird. Ein solches Beispiel ist die Abscheidung bei integraler Temperatursteuerung. Die Integration aller Schritte in einer einzigen chemischen Verarbeitungseinheit bietet zusätzliche Vorteile, wie: genauere Steuerung der Betriebsparameter als bei früheren Systemen; Verringerung der Pfadlängen, wodurch sich weniger Möglichkeiten für eine Degradation der chemischen Stoffe ergeben; und Verwendung 10 der Wärme der Reaktionen, um die ankommenden Materialien vorzuwärmen, wodurch der Energiebedarf verringert wird. Außerdem sind die Mittel zur Ausführung der Grundoperationen nicht unbedingt an der integralen Struktur befestigt. Solche Mittel können zum Beispiel außerhalb der Struktur angeordnet sein, wie die Verwendung eines Wasserbades als Temperatursteuermittel.

15 Die Materialien können wegen ihres Mangels an katalytischer Wirksamkeit und ihrer relativen Inertie gegenüber dem betreffenden chemischen Prozeß ausgewählt werden. Katalysatoren, die die gewünschte Wirksamkeit haben, können dann in die integrierte chemische Verarbeitungseinheit leicht eingeführt werden.

Ein typisches Mittel, um eine katalytische Wirksamkeit in die integrierte Struktur 20 einzuführen, besteht darin, einen Abschnitt eines Kanals mit katalytischen Perlen zu füllen, oder katalytische Materialien auf der Oberfläche eines Kanals abzulagern. Fachleuten auf diesem Gebiet stehen verschiedene Techniken zur Verfügung, um eine solche Grundoperation auszuführen.

Die bei dem Beispiel der vorliegenden Erfindung beschriebene Herstellungsmethode 25 ermöglicht eine einfache Massenproduktion von genauen Kanälen von komplexer Form oder anderen Strukturen in einem Material, das für eine chemische Verarbeitungsausrüstung in einzigartiger Weise geeignet ist. Die Herstellungsmethode erleichtert die genaue Reproduktion von kritischen Merkmalen, so daß größere Mengen von chemischen Stoffen verarbeitet werden können, wenn einfach die Merkmale so viele Male reproduziert werden, 30 wie erforderlich ist, um die gewünschte Produktionsrate von verarbeiteten chemischen Stoffen zu erhalten. Wenn die für einen vorgegebenen Prozeß erforderlichen Schritte in eine kompakte, integrierte Struktur verlegt werden, wird die Produktion eines vorgegebenen chemischen Stoffes mit einem weiter erhöhten Volumen einfach eine Sache der Reproduktion oder Vervielfachung der integrierten chemischen Verarbeitungseinheit, und des parallelen 35 Betriebs der reproduzierten Einheiten. Im Gegensatz zu der Vergrößerung mit großen Multilitertanks, die gegenwärtig bei der herkömmlichen chemischen Verarbeitung verwendet werden, bietet die vorliegende Erfindung durch Vervielfachung mittels Reproduktion eine größere Flexibilität für die phasenverschobene Investition und kleine verteilte Verarbeitungsanlagen. Wenn die chemischen Stoffe auf Anforderung an der Stelle des 40 Verbrauchs hergestellt werden, besteht die Möglichkeit, Versand- und Handhabungsgefahren, die mit einer zentralisierten Produktion und Verteilung von gefährlichen chemischen Stoffen verbunden sind, zu eliminieren.

Die Sicherheit wird auf verschiedene Weise erhöht, wenn nur kleine Volumen der Materialien in kleinen Reaktorelementen verarbeitet werden. Die kleine Größe der Kanäle 45 verhindert die Ausbreitung von Flammen, wodurch die Möglichkeit einer Explosion wesentlich

verringert oder beseitigt wird, und das gesamte Volumen des chemischen Materials in der Vorrichtung ist klein, wodurch die Menge von eventuell ausgelaufenem Material oder die Größe eventueller Explosionen verringert wird. Dies ergibt die Möglichkeit, gewisse chemische Verarbeitungen in einem kommerziellen Maßstab sicher auszuführen, die vorher mit herkömmlichen Verarbeitungsmethoden nicht sicher ausgeführt werden konnten. Die Möglichkeit, die chemische Reaktion durch Verwendung von kleinen, genauen Reaktoren genauer zu steuern, minimiert auch die Möglichkeit unerwünschter Nebenreaktionen, die Abfall erzeugen und zu einer Verschmutzung der chemischen Verarbeitungseinheit führen. Die vorliegende Erfindung bewirkt folglich eine Erhöhung der Produktivität und eine Verringerung der Gefahren.

In der folgenden ausführlichen Beschreibung bezeichnen in allen Figuren der Zeichnungen ähnliche Kennziffern ähnliche Elemente. Die Kennziffern von 1 bis 99 beziehen sich auf allgemeine Merkmale der Erfindung. Die Plättchen sind mit 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 und 1100 bezeichnet, und spezifische Merkmale bei den einzelnen Plättchen sind mit 101 bis 199, 201 bis 299, usw. bezeichnet, wobei die letzten zwei Ziffern dem allgemeinen Merkmal der Erfindung entsprechen. Der angefügte Buchstabe "V" wird verwendet, um Wege oder vertikale Pfade zwischen Plättchen durch die Struktur hindurch zu bezeichnen. Die Nachsilben, die einen Bindestrich und eine Ziffer aufweisen (-1, -2, usw.) werden verwendet, um Teile von spezifischen Elementen, wie einzelne Zweige der verzweigten Anschlüsse, zu bezeichnen. Kennziffern, die in geschweifte Klammern {} eingeschlossen sind, bezeichnen Kristallebenen in einem kristallinen Material.

In der Figur 1, auf die nun Bezug genommen wird, ist eine für die vorliegende Erfindung typische Vorrichtung 10 wiedergegeben. Diese Vorrichtung 10 besteht aus einer Vielzahl von Plättchen, die aus zwei Gruppen bestehen, einer äußeren Gruppe 12 und einer inneren Gruppe 14, wobei die Plättchen miteinander verschmolzen sind, um eine integrale Struktur zu bilden. Eine oder mehr Einlaßöffnungen 20 und 24 ermöglichen das Strömen von Reaktionspartnern in die Vorrichtung hinein, und eine oder mehr Auslaßöffnungen 30 und 34 ermöglichen das Strömen der sich ergebenden Reaktionsprodukte aus der Vorrichtung heraus. Es ist ersichtlich, daß die Einlaßöffnungen 20 und 24 und die Auslaßöffnungen 30 und 34 nicht unbedingt durch die äußeren Gruppen hindurchgehen müssen. Diese Elemente können so entworfen werden, daß sie zum Beispiel auf der Seite eines Plättchens mit der integralen Struktur verbunden sind. Die Plättchen der äußeren Gruppe 12 und der inneren Gruppe 14 können aus dem gleichen Material oder aus verschiedenen Materialien bestehen. Die äußere Gruppe 12, die aus einem ersten Plättchen 100 und einem elften Plättchen 1100 besteht, kann aus Metall, Keramik, oder einem Glasmaterial, wie Borsilikatglas, oder aus Materialien der Gruppen III, IV oder V des periodischen Systems bestehen. Bei dem unten beschriebenen Beispiel für einen spezifischen chemischen Prozeß ist Borsilikatglas das bevorzugte Material. Die innere Gruppe 14 der typischen Vorrichtung besteht aus den auch Wafer genannten Plättchen 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 und 1000. Die Plättchen der inneren Gruppe bestehen vorzugsweise aus Materialien, die so ausgewählt sind, daß sie mit dem spezifischen chemischen Prozeß kompatibel sind. Bei dem unten angegebenen Beispiel für den spezifischen chemischen Prozeß werden die Plättchen der inneren Gruppe vorzugsweise aus den Gruppen III, IV oder V des periodischen Systems, noch besser aus der Gruppe IV A ausgewählt, wobei Silizium das am meisten bevorzugte Material ist. Die Schnittlinien 4-4 und 5-5 veranschaulichen die Lage der Schnittansichten der zwei später wiedergegebenen Figuren.

Veranschaulichende Funktionsmerkmale der Vorrichtung sind in den Figuren 2 und 3 wie folgt wiedergegeben: ein elektrisches Heizelement 36, das durch entsprechende Zwischenraum-Pfade in der Unterseite der Wafer 100 und ein Metallisierungsmuster auf der Oberseite der Wafer 200 gebildet ist; zwei Einlaßverteileranschlüsse 40, 44, die durch 5 Pfade in der Unterseite der Wafer 200 und der Oberseite der Wafer 300 gebildet sind; eine Anordnung 60 von Mischer/Reaktions-Kammern, die durch entsprechende Pfade in der Unterseite der Wafer 200 und der Oberseite der Wafer 300 gebildet sind; ein gabelförmiger Auslaß-Sammleranschuß 50, der durch entsprechende Pfade in der Unterseite der Wafer 300 und der Oberseite der Wafer 400 gebildet ist; eine erste thermische Barriere 70, die durch 10 evakuierte Kammern 72 (Figur 9) in der Unterseite des Plättchens 400 und der Oberseite des Plättchens 500 gebildet ist; ein erster Wärmeaustauscher 74, der durch Pfade in der Unterseite der Wafer 500 und der Oberseite der Wafer 600 gebildet ist; ein spiralförmiger Abscheider 78, der durch Pfade in der Unterseite der Wafer 600 und der Oberseite der Wafer 700 gebildet ist; eine zweite thermische Barriere 82, die durch evakuierte Kammern 84 15 (Figur 12) in der Unterseite des Plättchens 700 und der Oberseite des Plättchens 800 gebildet ist; ein zweiter Wärmeaustauscher 86, der durch Pfade in der Unterseite der Wafer 800 und der Oberseite der Wafer 900 und in der Unterseite der Wafer 900 und der Oberseite der Wafer 1000 gebildet ist; und eine spiralförmige Photoreaktorkammer 90, die durch Pfade 20 in der Unterseite der Wafer 1000 und der Oberseite der Wafer 1100 gebildet ist.

In den Figuren 4 und 5 ist die vertikale Skala zur klaren Darstellung in einem übertrieben großem Maßstab wiedergegeben. Obwohl die Plättchen der Vorrichtung zu einer integralen Struktur verschmolzen sind, wenn die Vorrichtung vollständig fertig ist, sind zur klaren Darstellung in den Figuren 4 und 5 die Grenzflächen zwischen den Plättchen wiedergegeben.

In den Figuren 4 und 5, die typische Strömungsdurchgänge in dem Inneren der Struktur veranschaulichen, sind die vertikalen Durchgänge oder Wege 20V, 24V, 30V, 34V, die mit den Einlaßöffnungen 20, 24 bzw. den Auslaßöffnungen 30, 34 in dem äußeren Plättchen 100 verbunden sind, gewöhnlich durch Schleifen oder Bohren durch die obere Seite der Wafer hindurch gebildet. Das elektrische Heizelement 36 ist durch entsprechende 25 spiegelbildliche Zwischenraum-Pfade 136 (Figur 6) in der unteren Oberfläche des Plättchens 100 und ein Metallisierungsmuster 236 (Figur 6) auf der oberen Oberfläche des Plättchens 200 gebildet. Die Zwischenraum-Pfade 136 bei der typischen Vorrichtung sind mittels einer Ätztechnik gebildet. Das Metallisierungsmuster 236 auf der oberen Oberfläche des Plättchens 200 ist durch Standardtechniken zur chemischen Gasphasenabscheidung von Wolfram 30 unter Verwendung von Wolframhexafluorid und Wasserstoff gebildet.

In der Figur 4 sind drei Durchgänge 40-1, 40-2, 40-3, die Zweige des Verteileranschlusses 40 sind, und drei Durchgänge 44-1, 44-2, 44-3, die Zweige des Verteileranschlusses 44 sind, in der oberen Oberfläche des Plättchens 300 gebildet. Fünf Durchgänge 50-1, 50-2, 50-3, 50-4, 50-5, die Zweige des Sammleranschlusses 50 sind, sind 35 durch entsprechende spiegelbildliche Pfade 350-1, 350-2, 350-3, 350-4, 350-5 (Figur 8) in der unteren Oberfläche des Plättchens 300 bzw. 450-1, 450-2, 450-3, 450-4, 450-5 (Figur 8) in der oberen Oberfläche des Plättchens 400 gebildet.

In der Figur 5 liegt die zentrale Achse eines dritten horizontalen Durchgangs 50-3 (Figur 8), der den mittleren Zweig eines 5-zweigigen Sammleranschlusses 50 aufweist, in 40 der Ebene der Schnittansicht. Der horizontale Durchgang 50-3 ist durch entsprechende

spiegelbildliche Pfade gebildet, und zwar den Pfad 350-3 (Figur 8) in der unteren Oberfläche des Plättchens 300 bzw. den Pfad 450-3 (Figur 8) in der oberen Oberfläche des Plättchens 400. Bei der typischen Vorrichtung sind die Durchgänge, die den 5-zweigigen Sammleranschluß aufweisen, unter Verwendung einer Ätztechnik gebildet.

5 In der Figur 5 bilden die Durchgänge 260A, 260B, 260C, 260D, in Kombination mit den Zweigen 40-1, 44-1, 40-2, 44-2, bzw. 40-3, 44-3 der Verteileranschlüsse 40, 44 (Figuren 4 und 7) eine Gruppe von T-Mischer-strukturen 62, deren Funktionsweise in Verbindung mit den Figuren 7 und 7A später beschrieben wird. Die Durchgänge 264 in der Unterseite des Plättchens 200 und die Durchgänge 364 in der Oberseite des Plättchens 300  
10 wirken zusammen, um eine Mischkammer 64 zu bilden.

Die linke Seite der Figur 5 gibt den vertikalen Durchgang 20V wieder, der sich durch die Plättchen 100, 200 erstreckt, um die Einlaßöffnung 20 mit der gemeinsamen Kammer 40C des Anschlusses 40 zu verbinden, und durch entsprechend positionierte Pfade 120V, 220V in den Plättchen 100, 200 gebildet ist.

15 Die rechte Seite der Figur 5 gibt den vertikalen Durchgang 24V wieder, der sich durch die Plättchen 100, 200 erstreckt, um die Einlaßöffnung 24 mit der gemeinsamen Kammer 44C des Anschlusses 44 zu verbinden, und durch entsprechend positionierte Pfade 124V, 224V in den Plättchen 100, 200 gebildet ist. Ein mittlerer horizontaler Durchgang 50-3 des 5-zweigigen Anschlusses 50 wird durch entsprechende spiegelbildliche Pfade 350-3 und 450-3  
20 (Figur 8) in der unteren Oberfläche des Plättchens 300 bzw. der oberen Oberfläche des Plättchens 400 gebildet.

Die linke Seite der Figur 5 gibt den vertikalen Durchgang 50V wieder, der sich durch die Plättchen 400, 500, 600, 700, 800 erstreckt, um den zweiten Wärmeaustauscher 86 mit dem Anschluß 50 zu verbinden. Der vertikale Durchgang 50V wird durch entsprechend positionierte Pfade 450V, 550V, 650V, 750V und 850V in den Plättchen 400, 500, 600, 700 bzw. 800 gebildet.

Die Figur 6 gibt eine typische Anordnung von Zwischenraum-Kanälen und einem Metallisierungsmuster wieder, die zusammenwirken, um eine elektrisches Heizelement zu bilden. Das wiedergegebene elektrische Heizelement 36 besteht aus einem metallisierten Muster 236, das auf die obere Oberfläche des Plättchens 200 aufgebracht ist, und einem Zwischenraum-Pfad 136 in der unteren Oberfläche des Plättchens 100. Im zusammengefügten Zustand ermöglicht der Zwischenraum-Pfad, die ebenen Oberflächen der zwei Plättchen miteinander zu verbinden. Alternative Anordnungen, wie die Bildung des metallisierten Musters in einem geätzten Pfad in der unteren Oberfläche des Plättchens 100 oder der oberen Oberfläche des Plättchens 200, wobei die Oberseite des metallisierten Musters mit der Oberfläche des Plättchens bündig abschließt, könnten auch verwendet werden.

Die Figur 7 gibt eine Anordnung von Pfaden wieder, die zusammenwirken, um eine Anordnung von Mischerkammern und einen Verteileranschluß zu bilden. Der erste Verteileranschluß 40 besteht aus der gemeinsamen Kammer 40C und den Zweigdurchgängen 40-1, 40-2, 40-3. Die Kammer 240C auf der unteren Oberfläche des zweiten Plättchens 200 bildet in Verbindung mit der Kammer 340C auf der Oberseite der Wafer 300 die Kammer 40C. Die Pfade 340-1, 340-2, 340-3 auf der Oberseite der Wafer 300 bilden den Zweig 40-1, den Zweig 40-2 bzw. den Zweig 40-3 des Verteileranschlusses 40. Ebenfalls wiedergegeben ist die

Öffnung des vertikalen Pfades 20V, der die Einlaßöffnung 20 mit der gemeinsamen Kammer 40C verbindet.

Der zweite Verteileranschluß 44 besteht aus der gemeinsamen Kammer 44C und den Zweigdurchgängen 44-1, 44-2, 44-3. Die Kammer 244C auf der unteren Oberfläche des zweiten Plättchens 200 bildet in Verbindung mit der Kammer 344C auf der Oberseite der Wafer 300 die Kammer 44C. Die Pfade 344-1, 344-2, 344-3 auf der Oberseite der Wafer 300 bilden den Zweig 44-1, den Zweig 44-2 bzw. den Zweig 44-3 des Verteileranschlusses 44. Ebenfalls wiedergegeben ist die Öffnung des vertikalen Pfades 24V, der die Einlaßöffnung 24 mit der gemeinsamen Kammer 44C verbindet.

Auf der unteren Oberfläche des zweiten Plättchens 200 ist eine Serie von segmentierten Pfaden 264 gebildet, die mit entsprechenden segmentierten Pfaden 364 des Plättchens 300 zusammenwirken, um die Serie von Mischelementen 64 der Mischeranordnung 60 zu bilden. Die Mischeranordnung 60 weist mehrere Gruppen 60A, 60B, 60C, 60D von mehreren parallelen Mischern 64 auf. Bei dem wiedergegebenen spezifischen Beispiel gibt es fünf Mischer in jeder Gruppe, die mit 64A-1, 64A-2, 64A-3, 64A-4, 64A-5 bis 64D-1, 64D-2, 64D-3, 64D-4, 64D-5 bezeichnet sind. Die Figur 7 gibt die oben erwähnten Kammern 240C und 244C wieder.

Jeder Mischer 64 besteht aus zwei Pfaden, einem ersten Pfad 264, der auf der Unterseite des zweiten Plättchens 200 gebildet ist, und einem zweiten Pfad 364, der auf der Oberseite des dritten Plättchens 300 gebildet ist. Der erste und zweite Pfad bestehen jeweils aus einer Serie von abwechselnd angeordneten, geraden Segmenten, die miteinander verbunden sind, um einen kontinuierlichen Pfad zu bilden. Der erste und zweite Pfad sind auf angrenzenden Oberflächen angeordnet, wobei die Segmente in der Längsrichtung so versetzt sind, daß sie sich überschneiden. Der gesamte Mischer 64 kann als ein schlangenförmiger Pfad beschrieben werden (am besten in der Figur 5 zu sehen).

Vier Pfade 260A, 260B, 260C und 260D wirken mit den Zweigen 40-1, 40-2, 40-3 des Anschlusses 40, den Zweigen 44-1, 44-2, 44-3 des Anschlusses 44, bzw. einem ersten Segment von jedem segmentierten Pfad 364 zusammen, um eine Serie von T-Mischern 62 zu bilden. Jedes erste Segment 364 verbindet so jeden T-Mischer 62 mit jedem schlangenförmigen Mischer 64 der Mischeranordnung 60. Wie in der figur 7A am besten zu sehen ist, wirkt jeder Pfad 260 mit den Anschläßen 40 und 44 und einem ersten Segment jedes segmentierten Pfades 364 zusammen, um einen T-Mischer 62 zu bilden, der mit einem schlangenförmigen Mischer 64 verbunden ist, der aus den mehrfachen Segmenten 264 und 364 besteht. Wie in der Figur 7A ebenfalls zu sehen ist, kann jeder Bereich des Pfades 260 zwischen dem Anschluß 40 und dem Segment 364, und zwischen dem Anschluß 44 und dem Segment 364 einen verschiedenen Querschnitt haben, um die gewünschte Strömungsrate jedes zu mischenden chemischen Stoffes zu erhalten. Die Anzahl der Segmente 264 und 364, und der Querschnitt jedes Segments 264 und 364 kann entsprechend den Mischerfordernissen und den Strömungseigenschaften der zu verarbeitenden chemischen Stoffe ausgewählt werden.

Die Figur 8 gibt die Anordnung der Pfade wieder, die zusammenwirken, um einen Sammleranschluß 50 zu bilden, der verzweigt ist und einen variierenden Querschnitt hat. Der Sammleranschluß 50 besteht aus der gemeinsamen Kammer 50C und Zweigdurchgängen 50-1, 50-2, 50-3, 50-4 und 50-5. Die vertikalen Pfade 64A-1V, 64A-2V, 64A-3V, 64A-4V und 64A-5V verbinden die Durchgänge 264A mit den Sammleranschlußzweigen 50-1, 50-2, 50-3, 50-4 bzw. 50-5; die vertikalen Pfade 64B-1V, 64B-2V, 64B-3V, 64B-4V und 64B-5V verbinden die

Durchgänge 264B mit den Sammleranschlußzweigen 50-1, 50-2, 50-3, 50-4 bzw. 50-5; die vertikalen Pfade 64C-1V, 64C-2V, 64C-3V, 64C-4V und 64C-5V verbinden die Durchgänge 264C mit den Sammleranschlußzweigen 50-1, 50-2, 50-3, 50-4 bzw. 50-5; und die vertikalen Pfade 64D-1V, 64D-2V, 64D-3V, 64D-4V und 64D-5V verbinden die Durchgänge 264D mit den 5 Sammleranschlußzweigen 50-1, 50-2, 50-3, 50-4 bzw. 50-5. Der vertikale Durchgang 50V verbindet den Sammleranschluß 50 mit dem Photoreaktor 90, der unten in Verbindung mit der Figur 15 beschrieben wird.

Die Figur 9 gibt die Anordnung der Kammern 72 wieder, die zusammenwirken, um eine erste thermische Barriere 70 zu bilden. Die in die Unterseite der Wafer 400 geätzten 10 Kammern 472 sind entsprechend den in die Oberseite der Wafer 500 geätzten Kammern 572 ausgerichtet, um die Kammern 72 zu bilden. Während des Verbindungsprozesses werden die Wafer in einer Vakuumkammer angeordnet, so daß in jeder der Kammern 72 ein Vakuum vorhanden ist. Da ein Vakuum Wärme nicht gut leitet, und da nur eine sehr kleine 15 Kontaktfläche zwischen der Unterseite der Wafer 400 und der Oberseite der Wafer 500 vorhanden ist, wird eine thermische Barriere erzeugt, die den Wärmefluß in der vertikalen Richtung innerhalb der chemischen Verarbeitungseinheit stark verringert. Diese thermische Barriere bewirkt eine wirksame thermische Isolierung der Kombination aus dem elektrischen Heizelement 36 und der Mischeranordnung 60 von dem Rest der chemischen Verarbeitungseinheit.

20 Die Figur 10 gibt die Anordnung der Pfade wieder, die eine erste Wärmeaustauschereinheit 74 bilden. Eine Wärmeaustauscherkammer 574 ist in der unteren Oberfläche der Wafer 500 gebildet. Eine Serie von Kanälen 74C und Mesas 74M ist in der oberen Oberfläche der Wafer 600 gebildet, um die wirksame Fläche zu vergrößern, und so die Wärmeübertragung zu erhöhen. Eine Einlaßöffnung 75 (Figur 1) ist durch übereinstimmende 25 Pfade 575 und 675 gebildet, und eine Auslaßöffnung 76 ist durch übereinstimmende Pfade 576 und 676 gebildet. Eine Thermoelement-Vertiefung 74T, die durch übereinstimmende Pfade 574T und 674T gebildet ist, ist vorgesehen, um die Überwachung der Temperatur des Wärmeaustauschers zu erleichtern. Externe Strömungssteuermittel (nicht wiedergegeben) können verwendet werden, um die Temperatur des Wärmeaustauschers zu steuern. Beim Betrieb 30 strömt über die Einlaßöffnung 75 Wärmeaustauschfluid ein, das dann durch die Kanäle 74C und um die Mesas 74 M herum strömt, und über die Auslaßöffnung 76 ausströmt. Zwei Durchgänge 77-1 und 77-2 verbinden die unten beschriebenen, vertikalen Durchgänge 78V-1 und 78V-2 mit den vertikalen Durchgängen 30V bzw. 34V.

35 Die Figur 11 gibt eine Anordnung von Pfaden in der Unterseite der Wafer 600 und der Oberseite der Wafer 700 wieder, die zusammenwirken, um eine spiralförmige Abscheidereinheit 78 zu bilden. Der kurze Ausgangspfad 678 ist in die untere Oberfläche der Wafer 600 geätzt, und der lange, spiralförmige Pfad 778 ist in die obere Oberfläche der Wafer 700 geätzt, wobei eine isotrope Ätztechnik verwendet wird. Der vertikale Durchgang 88V erstreckt sich durch die Wafer 700 und verbindet den Ausgang des zweiten 40 Wärmeaustauschers mit dem Eingang des spiralförmigen Abscheidens 78. Die vertikalen Durchgänge 78V-1 und 78V-2 erstrecken sich durch die Wafer 600, um die Ausgänge des Abscheidens mit den Durchgängen 77-1 bzw. 77-2 zu verbinden (Figur 10).

45 Die Figur 12 gibt in ähnlicher Weise, wie in Verbindung mit der Figur 9 beschrieben wurde, die Anordnung der Kammern 84 wieder, die eine zweite thermische Barriere 82 bilden. Die in die Unterseite der Wafer 700 geätzten Kammern 784 sind entsprechend den in die

Oberseite der Wafer 800 geätzten Kammern 884 ausgerichtet, um die Kammern 84 zu bilden. Während des Verbindungsprozesses werden die Wafer in einer Vakuumkammer angeordnet, so daß in jeder der Kammern 84 ein Vakuum vorhanden ist. Da ein Vakuum Wärme nicht gut leitet, und da nur eine sehr kleine Kontaktfläche zwischen der Unterseite der Wafer 700 und der 5 Oberseite der Wafer 800 vorhanden ist, wird eine thermische Barriere erzeugt, die den Wärmefluß in der vertikalen Richtung innerhalb der chemischen Verarbeitungseinheit stark verringert. Diese thermische Barriere bewirkt eine wirksame thermische Isolierung der Kombination aus dem ersten Wärmeaustauscher 74 und dem spiralförmigen Abscheider 78 von dem Rest der chemischen Verarbeitungseinheit.

10 Die Figuren 13 und 14 geben die Anordnung der Pfade wieder, die eine zweite Wärmeaustauschereinheit 86 bilden (Figuren 2 und 3). Der Wärmeaustauscher 86 weist die Durchgänge 87 der Figur 13 auf, durch die die gemischten, aber noch nicht zur Reaktion gebrachten Reaktionspartner strömen, und er weist auch die Durchgänge 86 der Figur 14 auf, durch die die chemisch zur Reaktion gebrachten Materialien strömen. Dieser 15 Wärmeaustauscher überträgt Wärme zwischen dem chemisch zur Reaktion gebrachten Material, das von dem Photoreaktor kommt, und den gemischten Reaktionspartnern, die von der Mischanordnung 60 (Figur 7) durch den vertikalen Durchgang 50V in den Wärmeaustauscher strömen. Wie in der Figur 13 zu sehen ist, ist eine Serie von Kanälen 87C (gebildet durch 987C) und Mesas 87M (gebildet durch 987M) in der oberen Oberfläche der Wafer 900 gebildet, 20 um die wirksame Fläche zu vergrößern, und so die Wärmeübertragung zu erhöhen.

Wie in der Figur 14 zu sehen ist, ist eine Serie von Kanälen 88C und Mesas 88M in der unteren Oberfläche der Wafer 900 gebildet, und eine Kammer 89 in der oberen Oberfläche der Wafer 1000 gebildet. Die Kanäle 88C und die Mesas 88M in der Unterseite der Wafer 900, und die Kanäle 87C und Mesas 87M (Figur 13) in der Oberseite der Wafer 900 dienen dazu, 25 die wirksame Fläche zu vergrößern, um die Wärmeübertragung durch die Wafer 900 hindurch zu erhöhen. Beim Betrieb strömt das zur Reaktion gebrachte Material von dem Photoreaktor 90 durch den vertikalen Durchgang 90V und in die Durchgänge 88. Dieses Material strömt dann durch die Kanäle 88C und um und über die Mesas 88M in den vertikalen Durchgang 88V.

Die Figur 15 gibt die Anordnung eines gefalteten, spiralförmigen Pfades wieder, 30 der einen Photoreaktor 90 bildet. Beim Betrieb strömt das gemischte Material über den vertikalen Durchgang 87V in die Spirale, wo es entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn spiralförmig bis in die Mitte der Wafer strömt, dann die Richtung umkehrt, und im Uhrzeigersinn spiralförmig nach außen strömt und über den vertikalen Durchgang 90V ausströmt. Aktinische Strahlung von einer gewöhnlich ultravioletten, externen Quelle 99 35 (Figur 1) geht durch das durchlässige äußere Plättchen 1100 hindurch, um das Material in dem spiralförmigen Photoreaktor 90 zu bestrahlen und so die gewünschte chemische Reaktion zu stimulieren.

Die Figur 16 gibt eine erste alternative Anordnung eines katalytischen Reaktors 90' wieder, der anstelle des Photoreaktors 90 verwendet werden kann. Die Reaktorkanäle 90- 40 1', 90-2', 90-3', 90-4', 90-5', 90-6', 90-7' und 90-8' können mit Katalysatorperlen (nicht wiedergegeben) gefüllt werden, oder eine oder mehr Schichten aus katalytischem Material können auf die Oberfläche dieser Kanäle aufgebracht werden. Beim Betrieb strömt das gemischte Material über den vertikalen Durchgang 87V in den katalytischen Rektor 90', wo es in die Kammer 90C1' strömt und sich auf die Reaktorkanäle 90-1' bis 90-8' verteilt. Das

zur Reaktion gebrachte Material strömt in die Kammer 90C2', und dann über den vertikalen Durchgang 90V aus.

Die Figur 17 gibt eine zweite alternative Anordnung eines elektrochemischen Reaktors 90" wieder, der anstelle des Photoreaktors 90 oder des katalytischen Reaktors 90' verwendet werden kann. Beim Betrieb strömt das gemischte Material über den vertikalen Durchgang 87V in den elektrochemischen Reaktor, wo es in die Kammer 90" strömt und sich auf die Reaktorkanäle 90-1", 90-2", 90-3", 90-4", 90-5", 90-6", 90-7" und 90-8" verteilt. Elektroden, wie die zwei wiedergegebenen, ineinandergreifenden Elektroden 90E1" und 90E2" sind über elektrische Anschlüsse 90T1" und 90T2" mit einer externen elektrischen Quelle (nicht wiedergegeben) verbunden, um einen elektrischen Strom durch die gemischten Materialien fließen zu lassen und eine chemische Reaktion zu erleichtern. Das zur Reaktion gebrachte Material strömt in die Kammer 90C2", und strömt dann über den vertikalen Durchgang 90V aus. Wie Fachleuten auf dem elektrochemischen Gebiet bekannt ist, kann dem elektrochemischen Reaktor wahlweise eine andere Form gegeben werden.

Mehrere Einheiten der integralen Vorrichtung zur chemischen Verarbeitung können bei sequentiellem Betrieb oder Tandembetrieb verwendet werden. Jedes mehrfache Schema bietet unter anderen Vorteilen einen größeren Durchsatz. Eine sequentielle Verwendung würde zum Beispiel sein, wenn eine Einheit das Mischen ausführt, und das gemischte Material nach der nächsten Einheit weitergeleitet wird, die die Erhitzung ausführt, usw. Eine Tandemverwendung würde zum Beispiel sein, wenn alle Einheiten als Anordnung die gleiche Funktion ausführen. Diese Konzepte könnten sogar integriert werden, wie zum Beispiel, wenn mehrere Einheiten in Tandembetrieb einen Schritt ausführen, wobei der gesamte Ausstoß der Tandemeinheiten auf sequentielle Weise einer anderen (vielleicht größeren) Einheit zugeführt wird. Der Einbau von Einheiten mit sequentiellem Muster oder Tandemuster in beliebiger Anzahl stellt eine Entwurfswahl dar, die von den Fachleuten auf diesem Gebiet entsprechend dem gewünschten Ergebnis der chemischen Verarbeitung zu treffen ist.

#### FUNKTIONSWEISE DER INTEGRIERTEN VORRICHTUNG ZUR CHEMISCHEN VERARBEITUNG

Die zwei zur Reaktion zu bringenden Materialien strömen durch die Einlaßöffnungen 20, 24 in die Einheit, und danach über vertikale Durchgänge 20V, 24V in die Verteileranschlüsse 40, 44 und in die Mischeranordnung 60. Das Heizelement 36 wärmt die Mischeranordnung 60 bis auf die gewünschte Temperatur vor. Das gemischte Material wird in dem Sammleranschluß 50 gesammelt und über den vertikalen Durchgang 50V nach dem zweiten Wärmeaustauscher 86 geleitet. Nachdem das gemischte Material durch die mit dem zur Reaktion gebrachten Material ausgetauschte Wärme auf die gewünschte Temperatur eingestellt wurde, strömt es über den vertikalen Durchgang 87V nach dem Photoreaktor 90. Aktinische Strahlung von einer externen Quelle 99 stimuliert die gewünschte Reaktion. Das zur Reaktion gebrachte Material strömt von dem Photoreaktor über den vertikalen Durchgang 90V nach dem zweiten Wärmeaustauscher 86. Nachdem das zur Reaktion gebrachte Material mit dem ankommenden, gemischten Material Wärme ausgetauscht hat, strömt es über den vertikalen Durchgang 88V nach dem spiralförmigen Abscheider 78. Die auf das zur Reaktion gebrachte Material wirkende Zentrifugalkraft bewirkt, daß der dichtere Bereich nach der Außenseite der Spirale bewegt wird und in die Spirale 678 einströmt und bis zu dem vertikalen Durchgang 78V-2 strömt. Der weniger dichte Bereich strömt in den vertikalen Durchgang 78V-1. Der erste Wärmeaustauscher 74 hält den spiralförmigen Abscheider auf der gewünschten

Temperatur. Ein getrenntes Wärmeaustauschfluid, das bei der Einlaßöffnung 75 einströmt und bei der Auslaßöffnung 76 ausströmt, wird verwendet, um die Temperatur des spiralförmigen Abscheiders 78 zu steuern. Das durch 78V-1 strömende Material strömt durch den Durchgang 77-1, und dann über den vertikalen Durchgang 30V nach der Auslaßöffnung 30. Das durch 78V-5 2 strömende Material strömt durch den Durchgang 77-2, und dann über den vertikalen Durchgang 34V nach der Auslaßöffnung 34.

Zusätzliche mikrogefertigte Prozeßsteuerelemente, wie Proportionalventile und Druck-, Temperatur- und Strömungsfühler, können in die Struktur der vorliegenden Erfindung eingebaut werden. Diese Elemente könnten, wenn sie mit externen Steuerungen verwendet 10 werden, die Strömung in den Wärmeaustauschern, oder die Verweilzeit der Reaktionspartner innerhalb der integrierten chemischen Verarbeitungseinheit regeln. Andere chemische Prozesse, wie Hydrolyse, Nitrierung, Polymerisation und Oxydation können mittels der integrierten Struktur der vorliegenden Erfindung ausgeführt werden.

#### HERSTELLUNGSMETHODE

15 Die meisten Schritte des Herstellungsprozesses für die Vorrichtung zur Ausführung des typischen chemischen Prozesses entsprechen im allgemeinen bekannten Halbleiterverarbeitungstechniken für Siliziumwafer. Die Photowerkzeuge für die Muster auf jeder Seite jeder Wafer werden mittels gut bekannter computerunterstützter Entwurfstechniken hergestellt. Bereits polierte Siliziumwafer, deren hauptsächliche 20 Oberflächen der {100}-Kristallebene und anderen Orientierungen entsprechen, sind kommerziell erhältlich. Die polierten Wafer werden zuerst mittels einer gut bekannten, allgemeinen Reinigungstechnik, wie dem "RCA-Prozeß", gereinigt. Auf der Wafer wird mittels gut bekannter Standardtechniken ein Oxidfilm erzeugt. Auf die Oxidschicht wird mittels einer bekannten Methode zur chemischen Gasphasenabscheidung eine Nitridschicht 25 aufgebracht. Die Nitridschicht schützt die Oxidschicht vor dem Angriff durch die Ätzlösung, die verwendet wird, um das Silizium zuätzen. Mittels der gut bekannten Schleuderbeschichtungstechnik wird Photolack entsprechend den Anweisungen des Photolackherstellers aufgebracht.

Um das gewünschte Muster zu bilden, wird die Wafer zuerst mit einem Photowerkzeug 30 maskiert, das ein Bild des gewünschten Musters hat, und entsprechend den Kristallebenen der Wafer genau ausgerichtet wird. Gerade Bereiche des Musters werden gewöhnlich längs der {110}-Kristallebene ausgerichtet. Nach dem Belichten des Photolacks wird beim Entwickeln der unbelichtete Photolack abgelöst, um einen Teil der Nitrid/Oxid-Schicht freizulegen. Der freigelegte Nitrid/Oxid-Film wird schließlich geätzt, um ein negatives Nitrid/Oxid-35 Film-Bild des gewünschten Musters zu bilden.

Die Pfade werden in den Oberflächen der Wafer durch Ätzen des Siliziums gebildet, wobei eine isotrope oder anisotrope Ätzlösung verwendet wird, deren Wahl von der gewünschten Form des Pfades abhängt. Gekrümmte Formen werden mittels einer isotropen Ätzlösung geätzt. Bei geraden Formen können beide Ätzlösungen verwendet werden, wobei die 40 Wahl von der gewünschten Querschnittsform des Pfades abhängt. Wenn ein trapezförmiger Querschnitt gewünscht wird, wird eine anisotrope Ätzlösung verwendet.

Wenn eine bestimmte Wafer auf beiden Hauptoberflächen mittels der gleichen Ätzlösung geätzt werden soll, werden beide Seiten der Wafer mit Photolack maskiert, und dann wird der Photolack auf jeder Oberfläche mit dem gewünschten Muster belichtet, wonach

- entwickelt und gespült wird, und schließlich das Nitrid/Oxid auf beiden Oberflächen gleichzeitig geätzt wird. Dann kann das Silizium auf beiden Oberflächen gleichzeitig geätzt werden. Wenn auf den beiden Seiten der Wafer verschiedene Ätzlösungen verwendet werden sollen, werden alle Schritte für die erste Ätzlösung ausgeführt, und dann die 5 Schritte für die zweite Ätzlösung wiederholt. Nachdem alle Ätzschritte ausgeführt wurden, werden die vertikalen Durchgänge oder Wege durch die Wafer mittels Laserschneiden durch die Wafer hindurch ausgeführt, wobei gewöhnlich ein Schneidesystem mit einem gepulsten Neodym-YAG-Laser verwendet wird. Nach dem Laserschneiden werden die Wafer wieder gereinigt, um die Schneidüberreste zu entfernen. Die restliche Nitridschicht des negativen 10 Bildes wird mittels eines geeigneten Lösungsmittels, wie siedende Phosphorsäure, von der Wafer abgelöst, wobei die unbeschädigte Oxidschicht freigelegt wird. Das restliche negative Oxidschicht-Bild kann mittels eines geeigneten Lösungsmittels, wie gepuffertes Hydrogenfluorid, wahlweise von der Wafer abgelöst werden. Die Wafer wird mittels der oben beschriebenen Technik wieder gereinigt.
- 15 Wafer oder Scheiben der äußeren Gruppe von Plättchen werden mittels Techniken hergestellt, die von dem Plättchenmaterial abhängen. Äußere Plättchen, die aus Material der Gruppen III, IV oder V bestehen, werden mittels ähnlicher Ätz-, Schleif-, Bohr- und Poliertechniken wie bei den inneren Plättchen verarbeitet. Äußere Plättchen, die aus Borsilikatglas oder Quarzglas bestehen, werden mittels herkömmlicher Schneide-, Bohr-, 20 Schleif- und Poliertechniken für Glas hergestellt.

Nachdem alle Wafer einzeln verarbeitet wurden, werden die Wafer der inneren Gruppe bei genauer Ausrichtung sorgfältig gestapelt, und durch eine Schmelzverbindung miteinander verbunden. Um eine gute Verbindung zu erhalten, sollten die Oberflächen völlig eben sein, und die Oxidschichten auf jeder Oberfläche sollten unbeschädigt sein. Da Silizium im 25 Infraroten in einem gewissen Grade durchlässig ist, kann ein Mikroskop mit einer Infrarot-Videokamera verwendet werden, wobei wahlweise Ausrichtungsmarken auf jeder Wafer vorgesehen werden können, um eine genaue Ausrichtung der Wafer vor der Schmelzverbindung sicherzustellen. Wenn Plättchen der äußeren Gruppe aus Glas bestehen, werden diese Plättchen einzeln anodisch mit dem verschmolzenen Stapel aus inneren Plättchen verbunden.

30 Das folgende Beispiel veranschaulicht die Beurteilung einer experimentellen Vorrichtung zur Gasphasen-Photochlorierung von DCDMS zu Dichlor(chlormethyl)methylsilan (DCCMMS). Die DCDMS-Photoreaktion wird gemäß einer gut verstandenen chemischen Reaktion ausgeführt, wie von Fachleuten auf diesem Gebiet leicht erkannt wird. Die DCDMS-Photoreaktion wird bei einer Flüssigphasenreaktion kommerziell ausgeführt. Die Schritte 35 dieser Reaktion haben explosive Gemische zur Folge gehabt. Sicherheitsüberlegungen sind daher die Hauptbesorgnisse bei dieser Reaktion.

Die aus drei Wafern bestehende Vorrichtung hatte 10 Hochgeschwindigkeitsmischer und einen spiralförmigen Photoreaktorkanal (ähnlich wie in der Figur 15), der in das Siliziumsubstrat geätzt war. Spiralförmige Kanäle von 250 Mikron Tiefe und 3 mm Breite und 40 1900 mm Länge wurden (mittels einer isotropen Ätztechnik zur Erzeugung der Photokammer-Kanäle) gebildet. Die Druckabfälle bei der experimentellen Vorrichtung betrugen 0,34 bar (5 psi). Präzisions-Laserbohren wurde verwendet, um Wege zwischen den Siliziumwaferschichten zu bilden, die dann durch Schmelzverbindung miteinander verbunden wurden, und anodisches Verbinden von Borsilikatglas mit Silizium wurde verwendet, um das 45 "Fenster" für die Photokammer zu erzeugen.

Die experimentelle Vorrichtung wurde auf einer erhitzten Platte festgeklemmt, die die Temperatur der Vorrichtung auf 100 Grad Celsius hielte. DCDMS mit 2,7 Gramm pro Minute, und Chlorgas in einem Molverhältnis von 1:10 wurden über die Einlaßöffnungen in die Vorrichtung eingeleitet. Die Vorrichtung wandelte 7,6% des Chlors bei einer Ausbeute von 5 98,6% in DCCMMS um. Bei einer Prüfung der Siliziumoberflächen, die der Reaktionsmasse ausgesetzt waren, ergab sich kein sichtbarer chemischer Angriff.

Diese Ergebnisse zeigen, daß die potentiell gefährliche Reaktion sicher ausgeführt werden kann, und (bei ähnlichen Umwandlungsprozentsätzen und einer weit kürzeren Verweilzeit in dem Photoreaktor) eine ähnliche Ausbeute wie bei dem herkömmlichen Prozeß 10 erhalten werden kann.

Fachleute auf diesem Gebiet, die die Informationen der vorliegenden Erfindung, wie sie oben wiedergegeben wurde, nutzen können, können zahlreiche Modifikationen bei der Erfindung vornehmen. Es ist leicht erkennbar, daß solche Modifikationen vorgenommen werden können, ohne den Geltungsbereich der vorliegenden Erfindung zu verlassen. Demgemäß soll 15 bei solchen Modifikationen angenommen werden, daß sie innerhalb des Geltungsbereichs der Erfindung liegen, wie dieser in den angefügten Patentansprüchen festgelegt ist.

PATENTANSPRÜCHE

1. Integrale Struktur für die chemische Verarbeitung und Produktion, die eine Vielzahl von miteinander verbundenen Plättchen aufweist, mit mindestens einer Einlaßöffnung und mindestens einer Auslaßöffnung, die darin gebildet, zur Aufnahme und Abgabe von chemischen Stoffen, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das wegen der Kompatibilität mit dem chemischen Prozeß ausgewählt wurde, und mit mindestens einem dreidimensional gewundenen, hindurchgehenden Kanal, der zwischen benachbarten Plättchen genau orientiert ist, um die zu verarbeitenden chemischen Stoffe aufzunehmen, wobei der Kanal mit den Einlaß- und Auslaßöffnungen verbunden ist, und längs einem oder mehr Plättchen kontinuierlich ist, und längs einem oder mehr weiteren Plättchen diskontinuierlich ist, und der diskontinuierliche Kanal zwischen benachbarten Plättchen kontinuierlich ausgerichtet ist, um einen kontinuierlichen, hindurchgehenden Pfad zu bilden, und konfiguriert ist, um mit Mitteln zusammenzuwirken, die mindestens eine Grundoperation ausführen, und positioniert sind, um eine gewünschte Steuerung zu bewirken, so daß die chemischen Stoffe verarbeitet werden.
2. Integrale Struktur gemäß Anspruch 1, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus den Elementen der Gruppen III, IV und V des periodischen Systems, Keramikmaterialien, Glasmaterialien, Polymeren, Verbundstoffen und Metallen ausgewählt ist.
3. Integrale Struktur gemäß Anspruch 2, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus den Elementen der Gruppen III, IV und V des periodischen Systems ausgewählt ist.
4. Integrale Struktur gemäß Anspruch 3, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus der Gruppe IVA des periodischen Systems ausgewählt ist.
5. Integrale Struktur gemäß Anspruch 4, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus Silizium und Germanium ausgewählt ist.
6. Integrale Struktur gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Plättchen ausgelegt sind, um eine Vielzahl von Grundoperationen aufzunehmen.
7. Integrale Struktur gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Kanal zwischen ungefähr 10 und ungefähr 5000 Mikrometer im Querschnitt mißt.
8. Integrale Struktur gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Mittel, um mindestens eine Grundoperation auszuführen, aus Temperatursteuermitteln, Drucksteuermitteln, Mitteln zum Steuern der chemischen Verweilzeit, Mischmitteln, Wärmeisolationsmitteln, Abscheidermitteln, Photoreaktormitteln, elektrochemischen Reaktormitteln und katalytischen Reaktormitteln ausgewählt sind.
9. Integrale Struktur gemäß Anspruch 8, wobei die Temperatursteuermittel mit einem oder mehr Temperaturfühlmitteln und einem oder mehr Wärmeflußsteuermitteln kombiniert sind.
10. Prozeß zur Herstellung einer integralen Struktur für die chemische Verarbeitung und Produktion, der folgende Schritte aufweist:
  - (a) Verarbeiten einer Vielzahl von Plättchen, von denen jedes einen oberen Bereich und einen unteren Bereich hat, und eine gewünschte Dicke hat, die ausreichend ist, um gewünschte Pfade auf dem Plättchen oder durch das Plättchen hindurch zu bilden;

(b) Stapeln und Verbinden der Plättchen bei genauer Ausrichtung entsprechend mindestens einer Einlaßöffnung und mindestens einer Auslaßöffnung, die darin gebildet sind, für die Aufnahme und Abgabe von chemischen Stoffen, wobei die Plättchen der inneren Gruppe ein Material aufweisen, das wegen der Kompatibilität mit dem chemischen Prozeß ausgewählt wird, und wobei die Pfade mindestens einen dreidimensional gewundenen, durchgehenden Kanal bilden, der zwischen benachbarten Plättchen genau orientiert ist, um zu verarbeitende chemische Stoffe aufzunehmen, wobei der Kanal mit den Einlaß- und Auslaßöffnungen verbunden ist, und längs einem oder mehr Plättchen kontinuierlich ist, und längs einem oder mehr weiteren Plättchen diskontinuierlich ist, und der diskontinuierliche Kanal zwischen benachbarten Plättchen kontinuierlich ausgerichtet ist, um einen kontinuierlichen, durchgehenden Pfad zu bilden, und konfiguriert ist, um zusammenzuwirken mit

(c) einem oder mehr Mitteln, die positioniert sind, um mindestens eine Grundoperation auszuführen, die eine gewünschte Steuerung bewirkt, so daß die chemischen Stoffe verarbeitet werden.

11. Prozeß gemäß Anspruch 10, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus den Elementen der Gruppen III, IV und V des periodischen Systems, Keramikmaterialien, Glasmaterialien, Polymeren, Verbundstoffen und Metallen ausgewählt ist.

12. Prozeß gemäß Anspruch 11, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus den Gruppen III, IV und V des periodischen Systems ausgewählt ist.

13. Prozeß gemäß Anspruch 12, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus der Gruppe IVA des periodischen Systems ausgewählt ist.

14. Prozeß gemäß Anspruch 13, wobei die Plättchen ein Material aufweisen, das aus Silizium und Germanium ausgewählt ist.

15. Prozeß gemäß irgendeinem der Ansprüche 10 bis 14, wobei das Verarbeiten (a) nach einem Verfahren ausgeführt wird, das aus subtraktiven Prozessen, additiven Prozessen und Formprozessen ausgewählt ist.

16. Methode zur chemischen Verarbeitung und Produktion, die folgende Schritte aufweist:

(a) Einleiten von einem oder mehr zu verarbeitenden chemischen Stoffen in die Einlaßöffnung der Struktur von irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9;

(b) Weiterleiten des einen oder von mehr chemischen Stoffen, damit sie mindestens durch einen gewundenen Kanal hindurchgehen, der speziell ausgelegt ist, um den einen oder mehr chemische Stoffe aufzunehmen;

(c) Koordinieren des Durchgangs des einen oder von mehr chemischen Stoffen durch den gewundenen Kanal mit Mitteln, die mindestens eine der folgenden Grundoperationen bei dem einen oder mehr chemischen Stoffen ausführen:

A - Mischen,

B - Wärme Austauschen,

C - Abscheiden,

D - katalytisch Reagieren,

E - nicht-katalytisch Reagieren,

F - photochemisch Reagieren, und

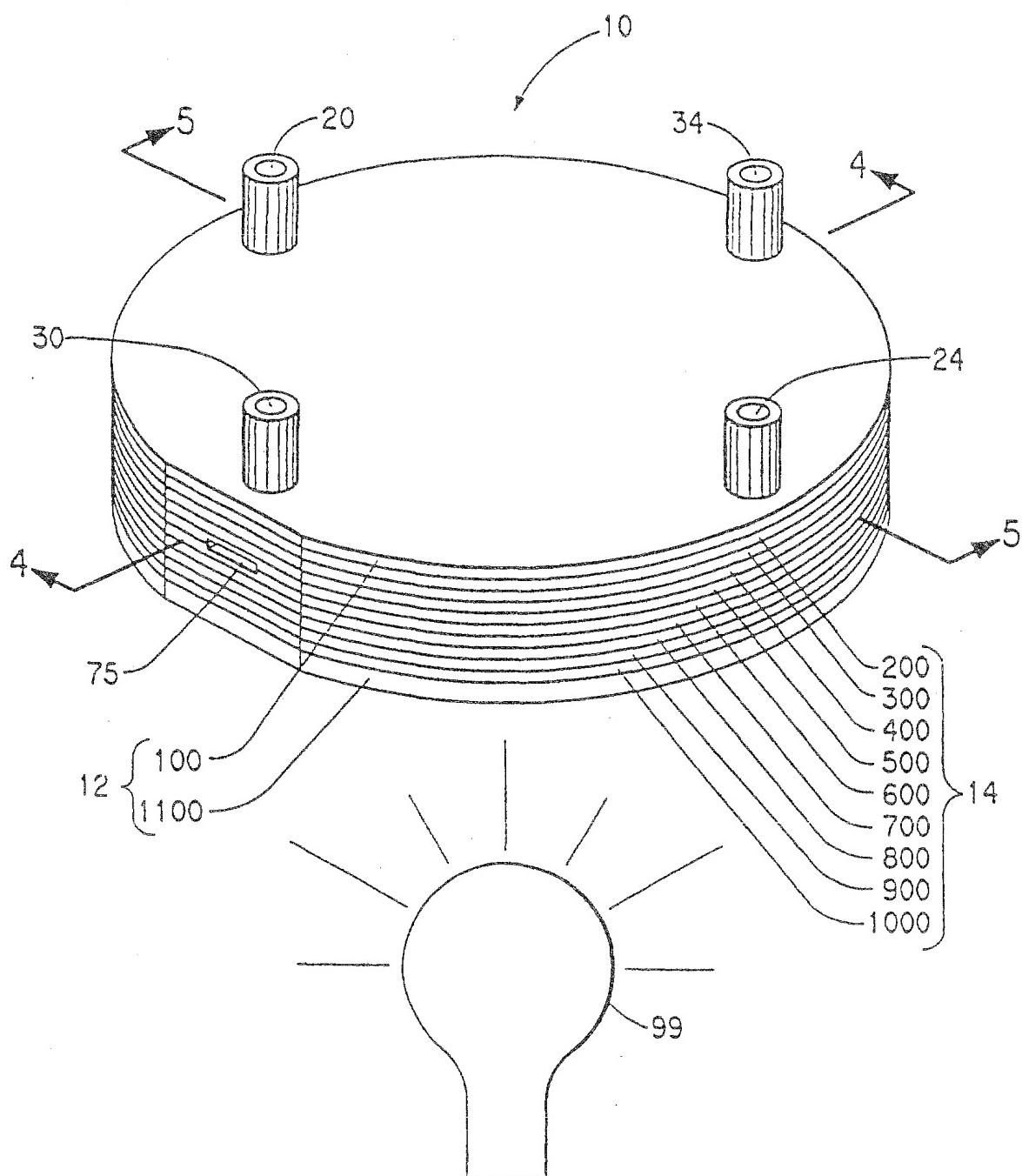
G - elektrochemisch Reagieren:

(d) Herausnehmen von einem oder mehr verarbeiteten chemischen Stoffen aus der Auslaßöffnung;

wodurch diese Verarbeitung gekennzeichnet ist durch die Koordination des Entwurfs  
5 des gewundenen Kanals mit den Grundoperationen, die bei dem einen oder mehr zu verarbeitenden chemischen Stoffen ausgeführt werden.

17. Prozeß gemäß Anspruch 16, wobei der eine oder mehr in die Einlaßöffnung eingeleitete chemische Stoffe in sequentieller Weise den Grundoperationen Mischen, Wärme Austauschen, photochemisch Reagieren, und Abscheiden unterworfen werden.

FIG. 1



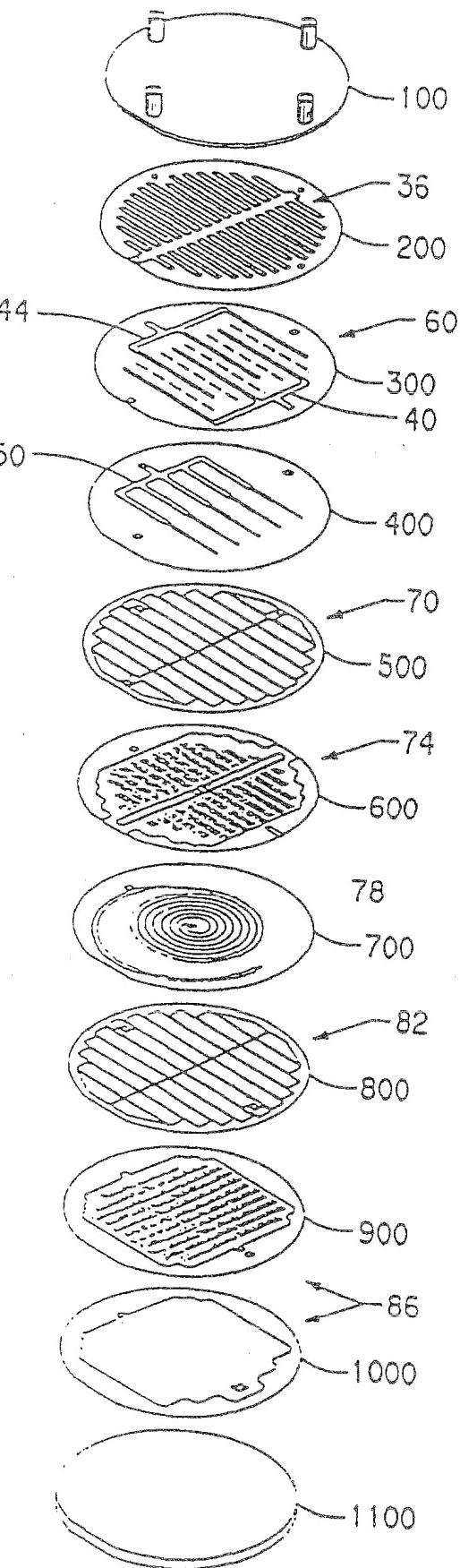


FIG. 2

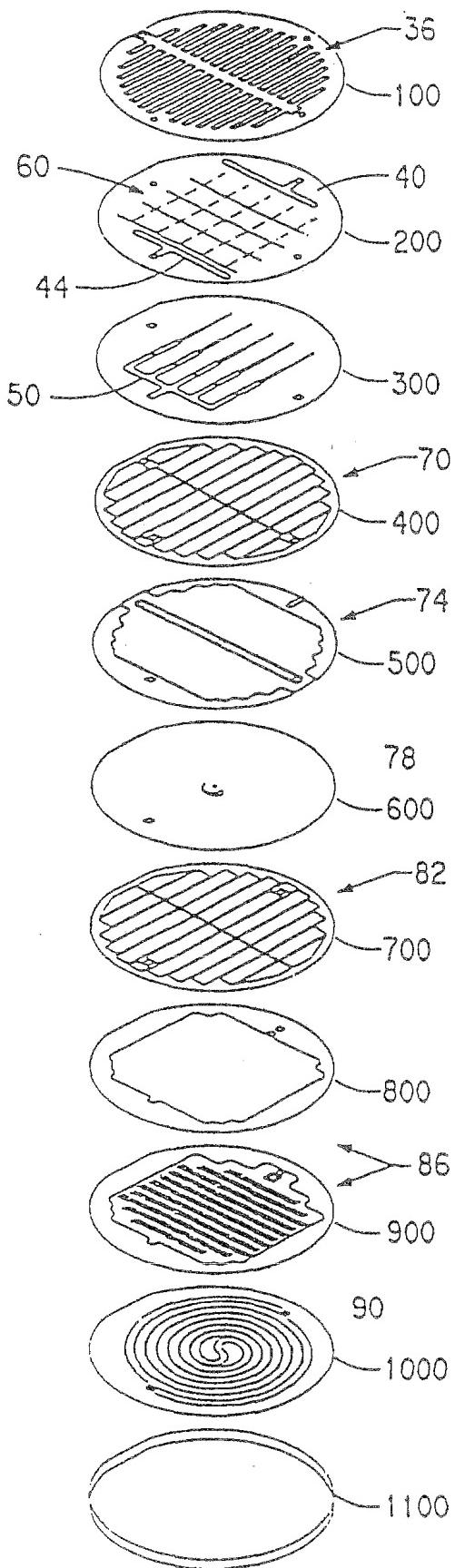


FIG. 3

FIG. 4

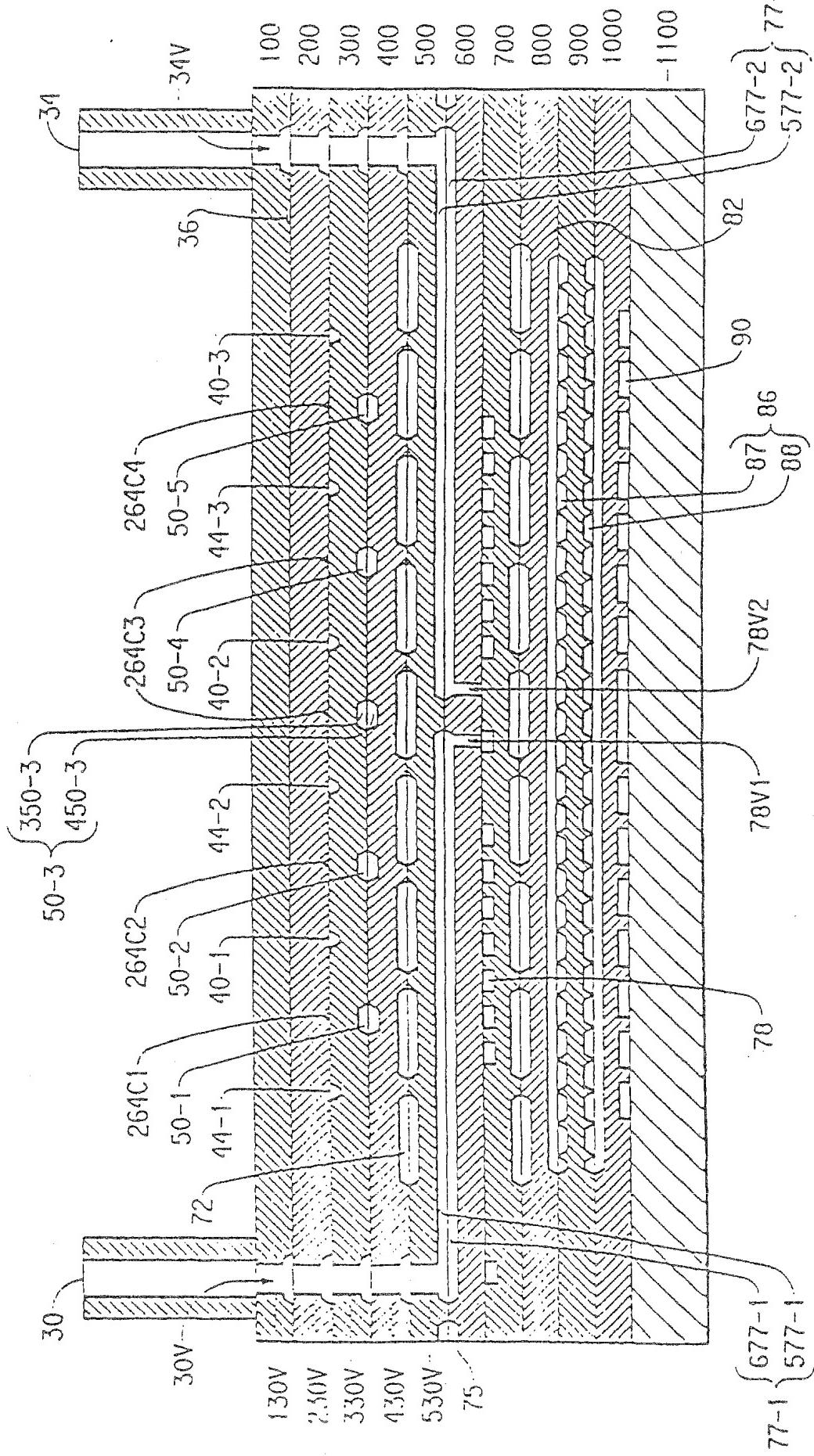


FIG. 5

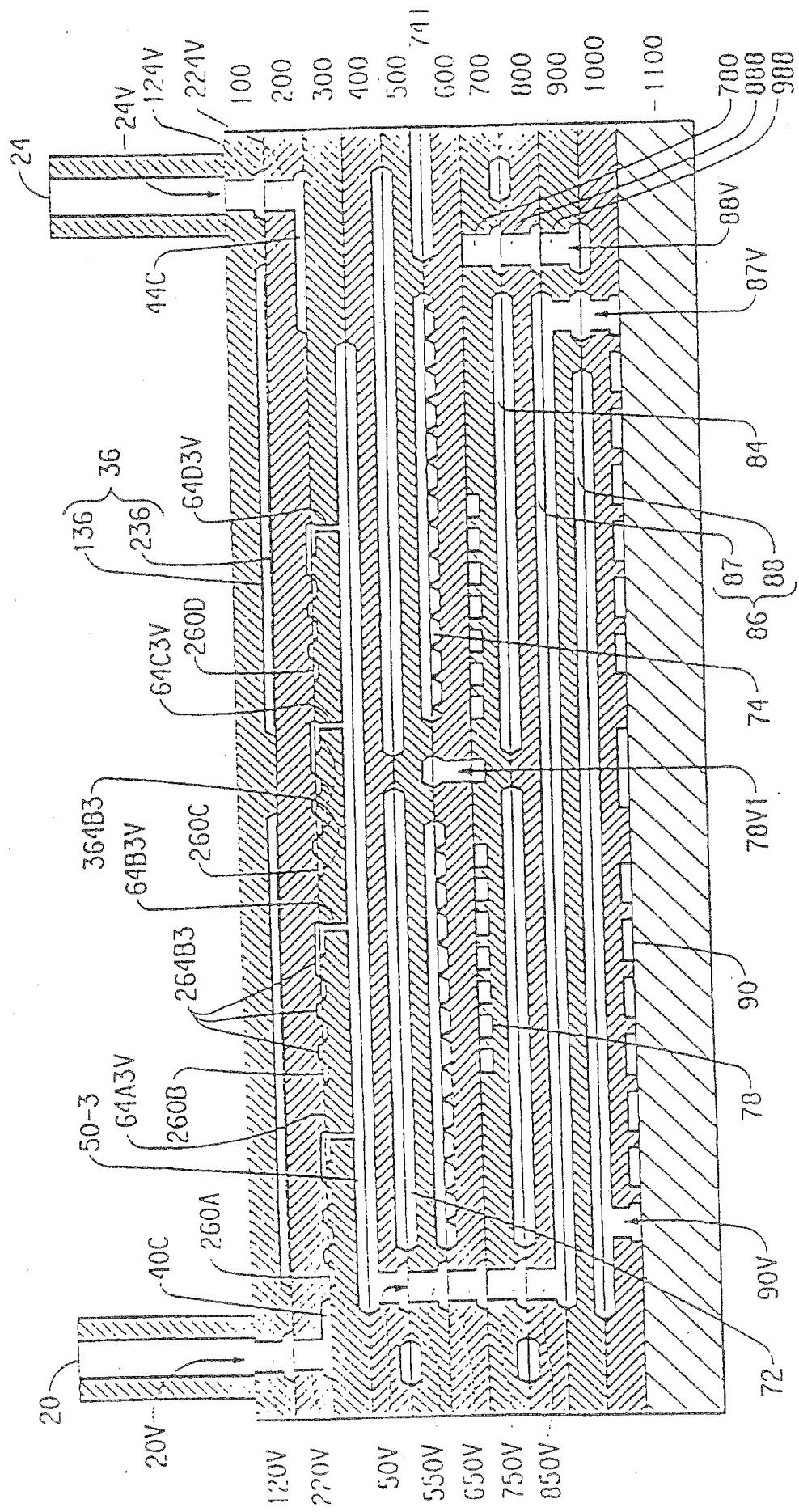


FIG. 6

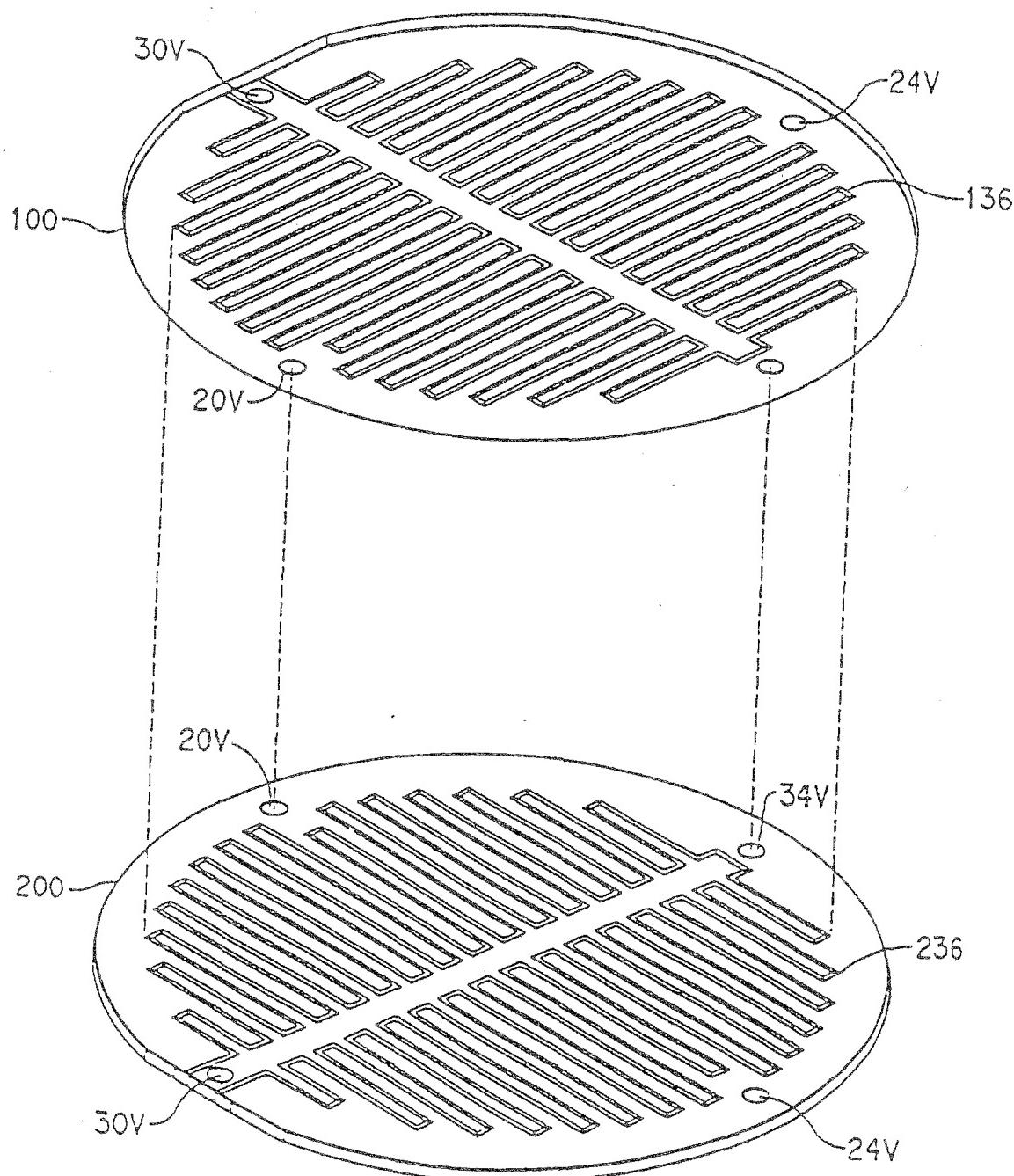


FIG. 7

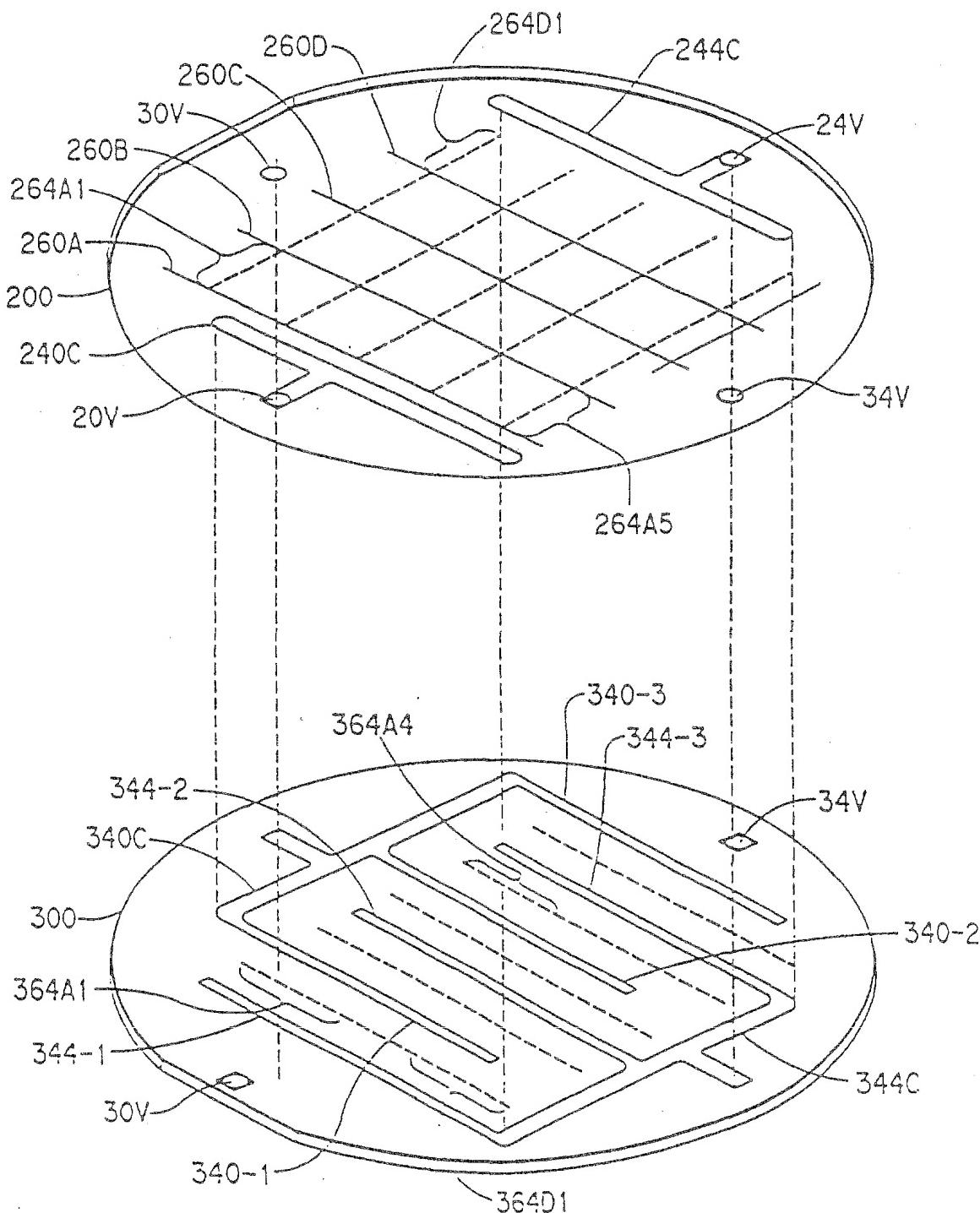


FIG. 7A

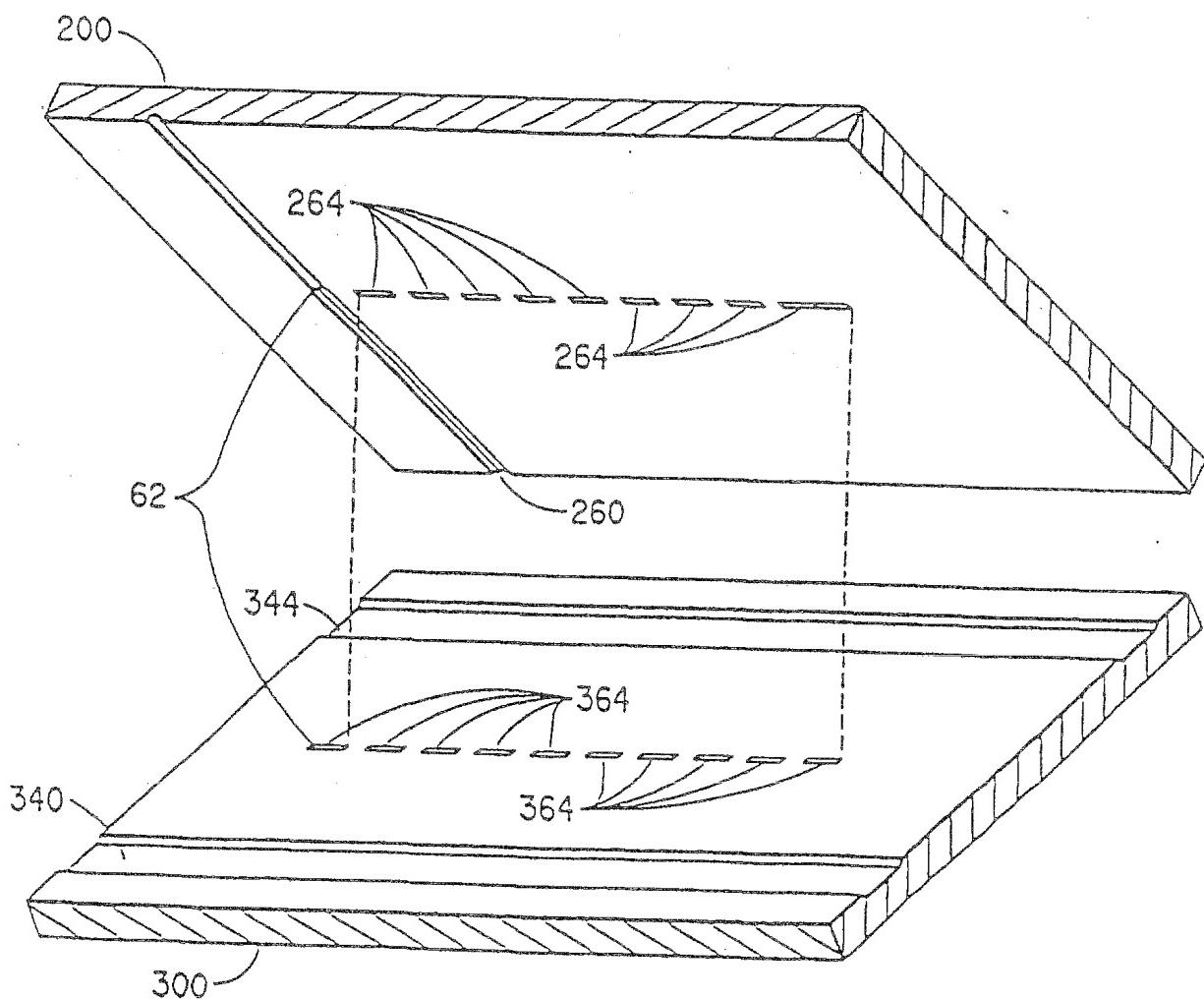


FIG. 8

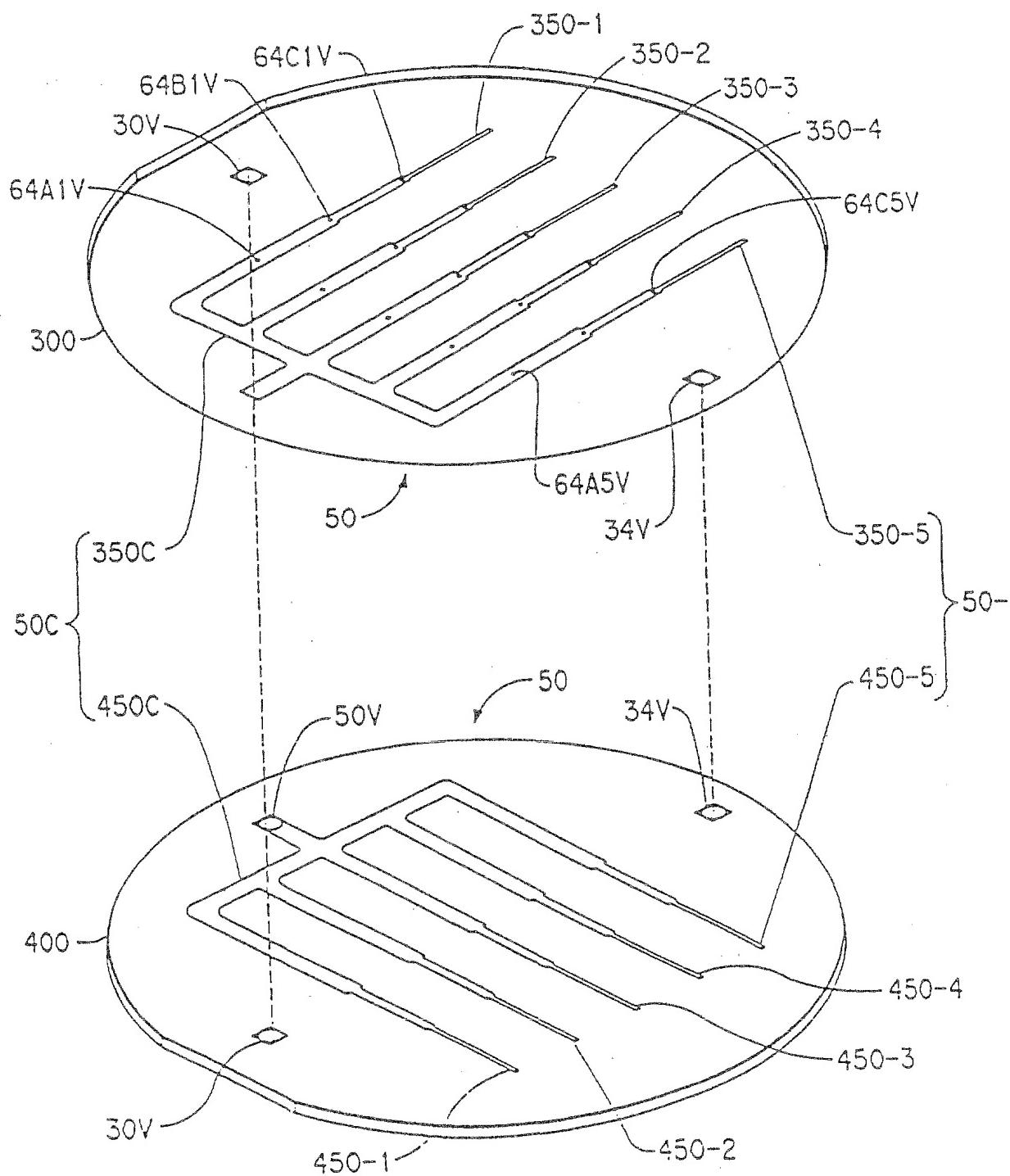


FIG. 9

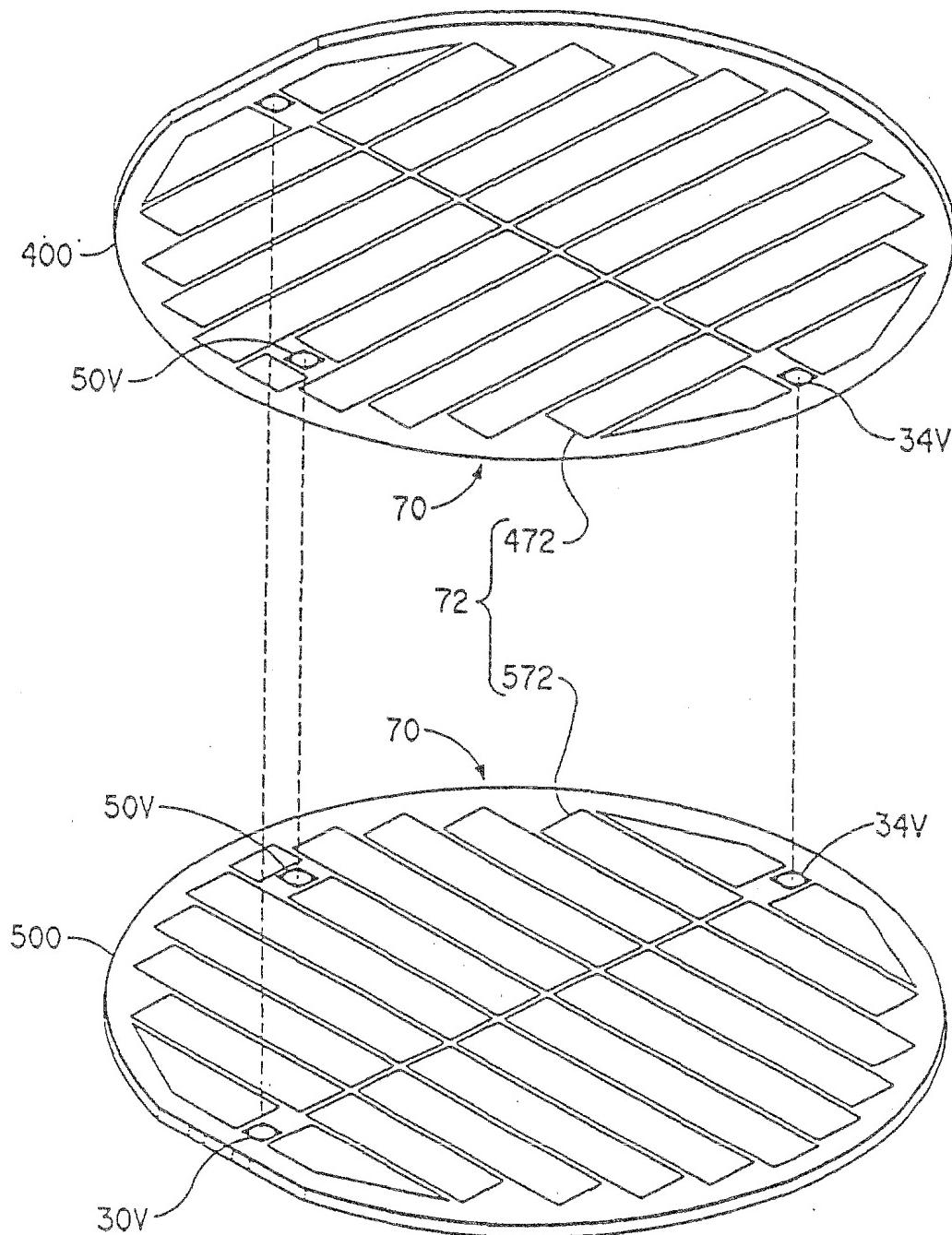


FIG.10

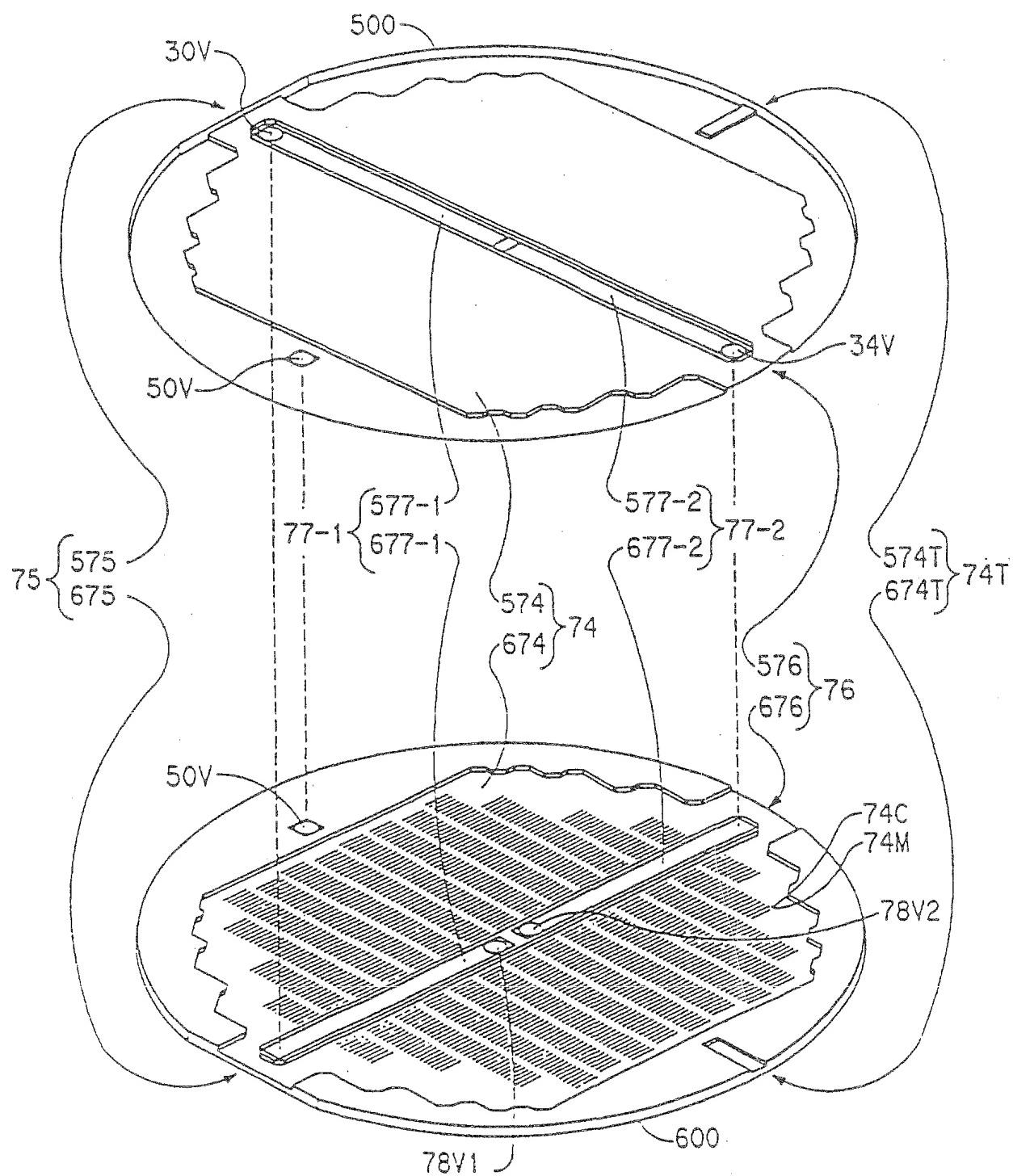


FIG. 11

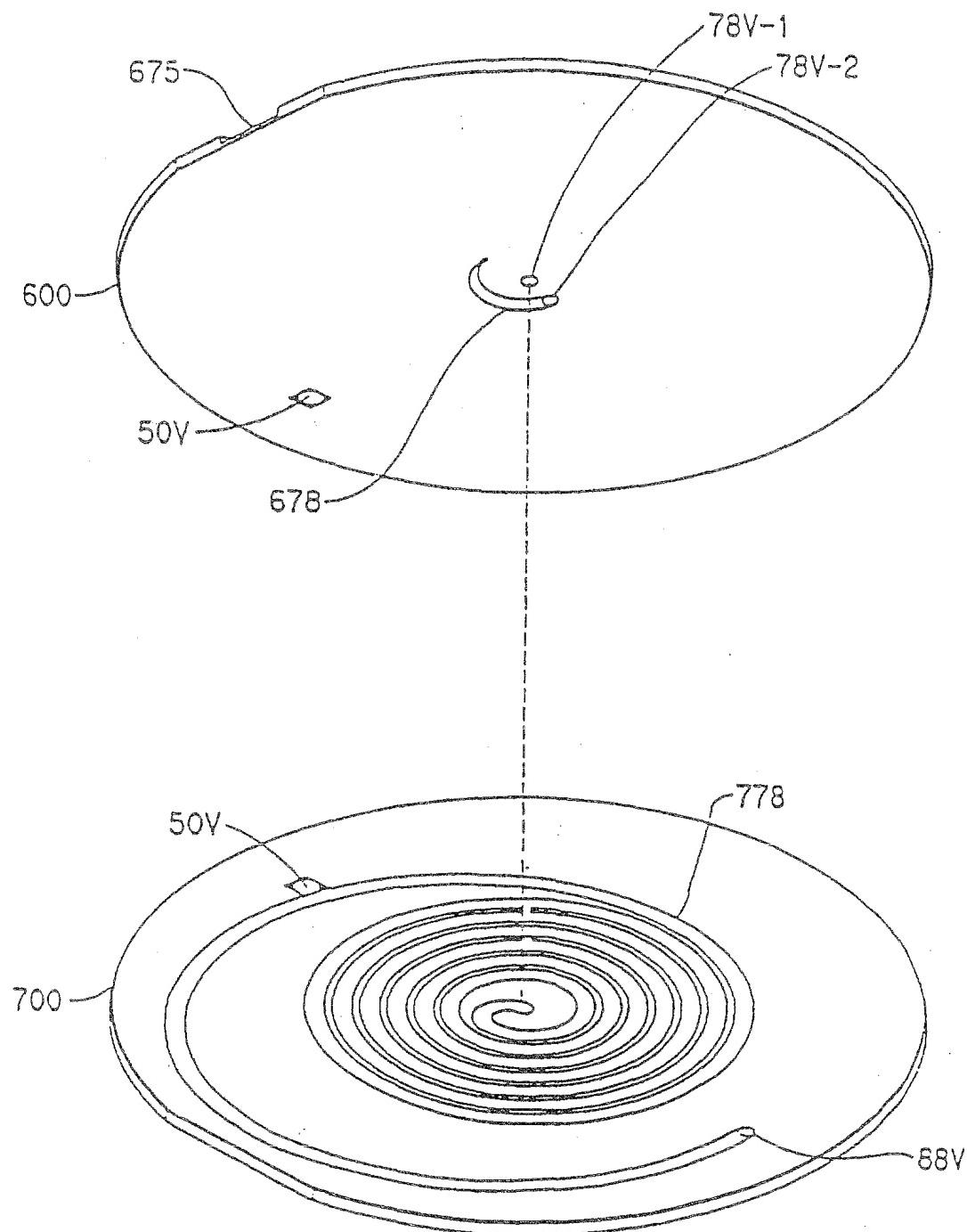


FIG. 12

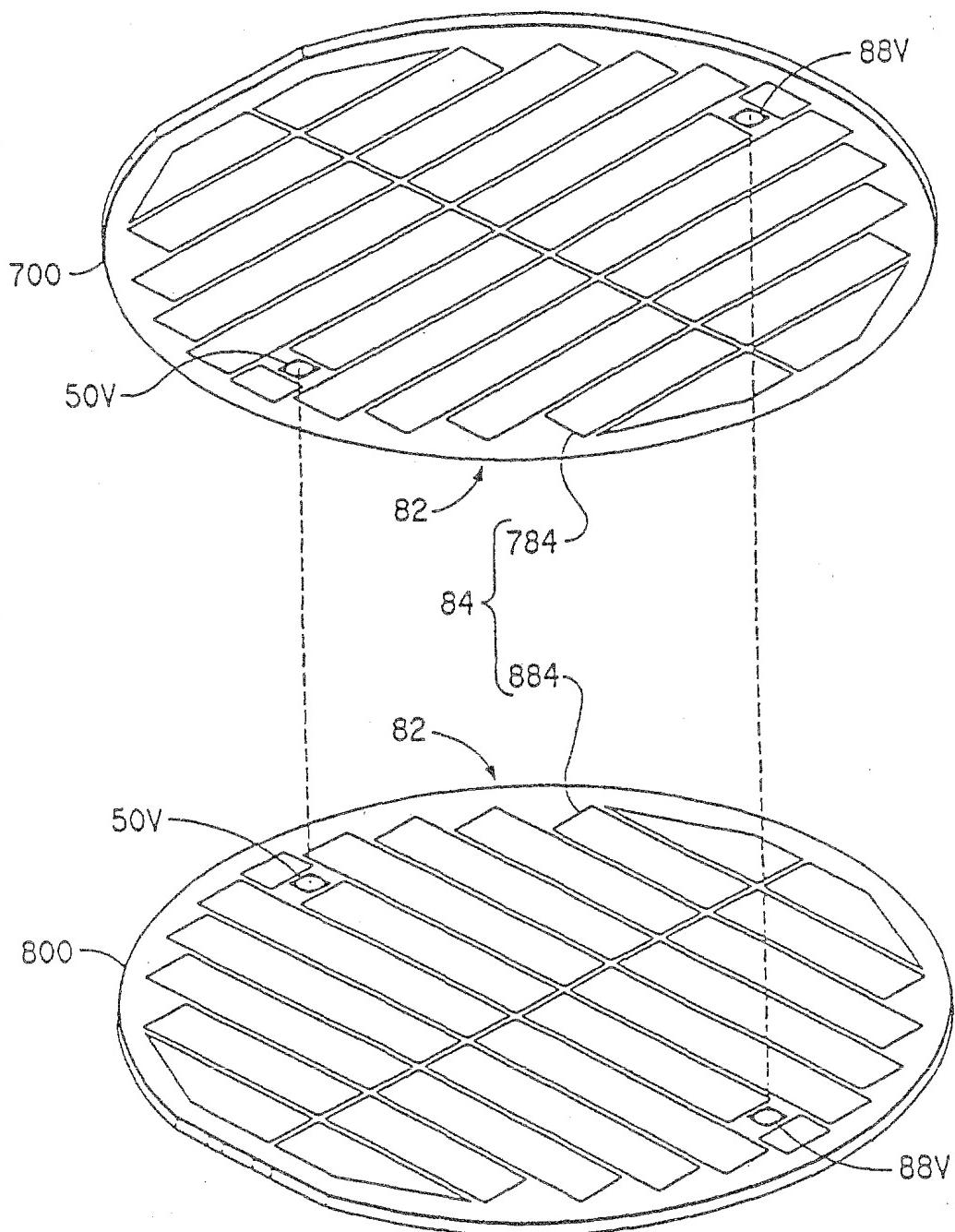


FIG.13

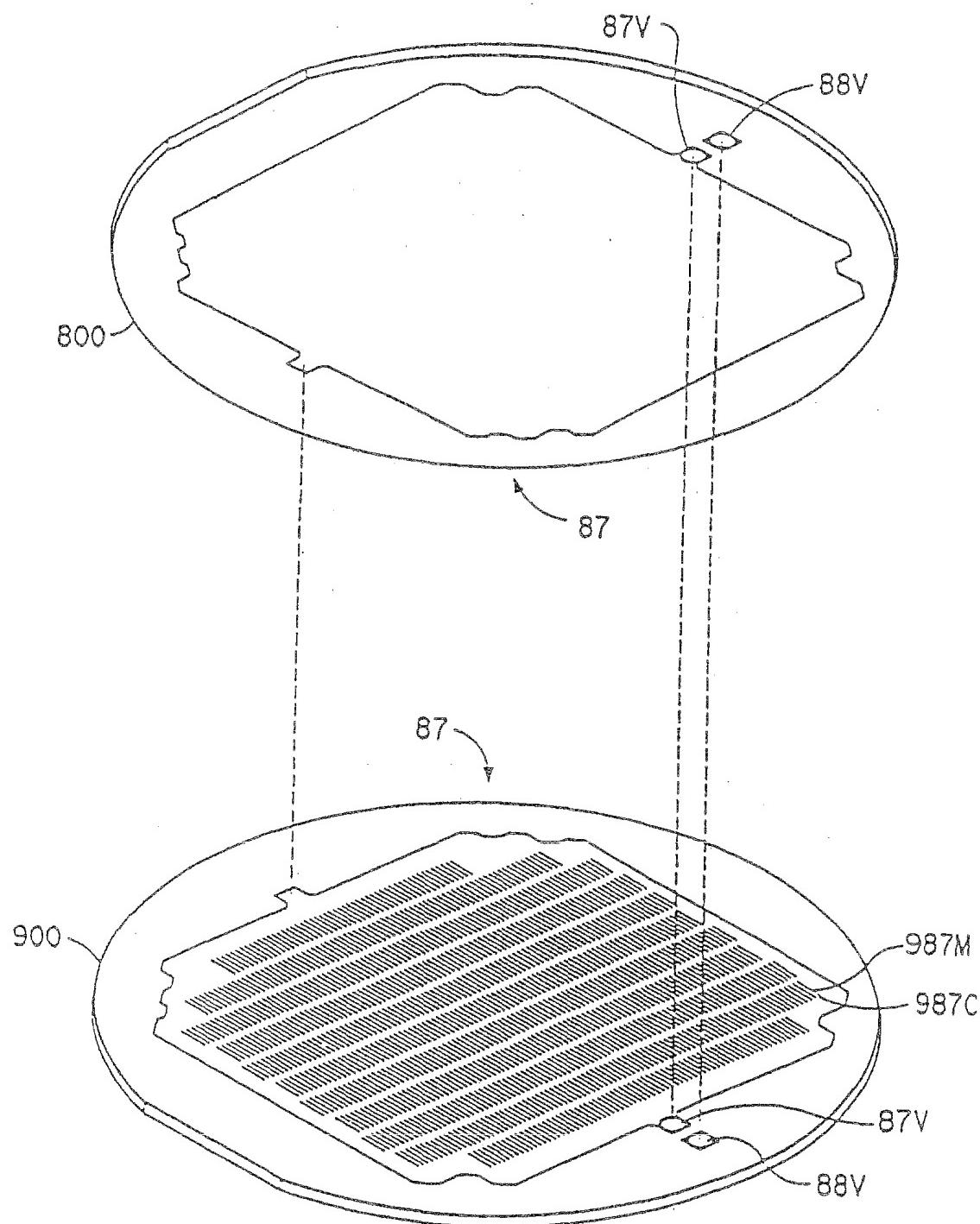


FIG. 14

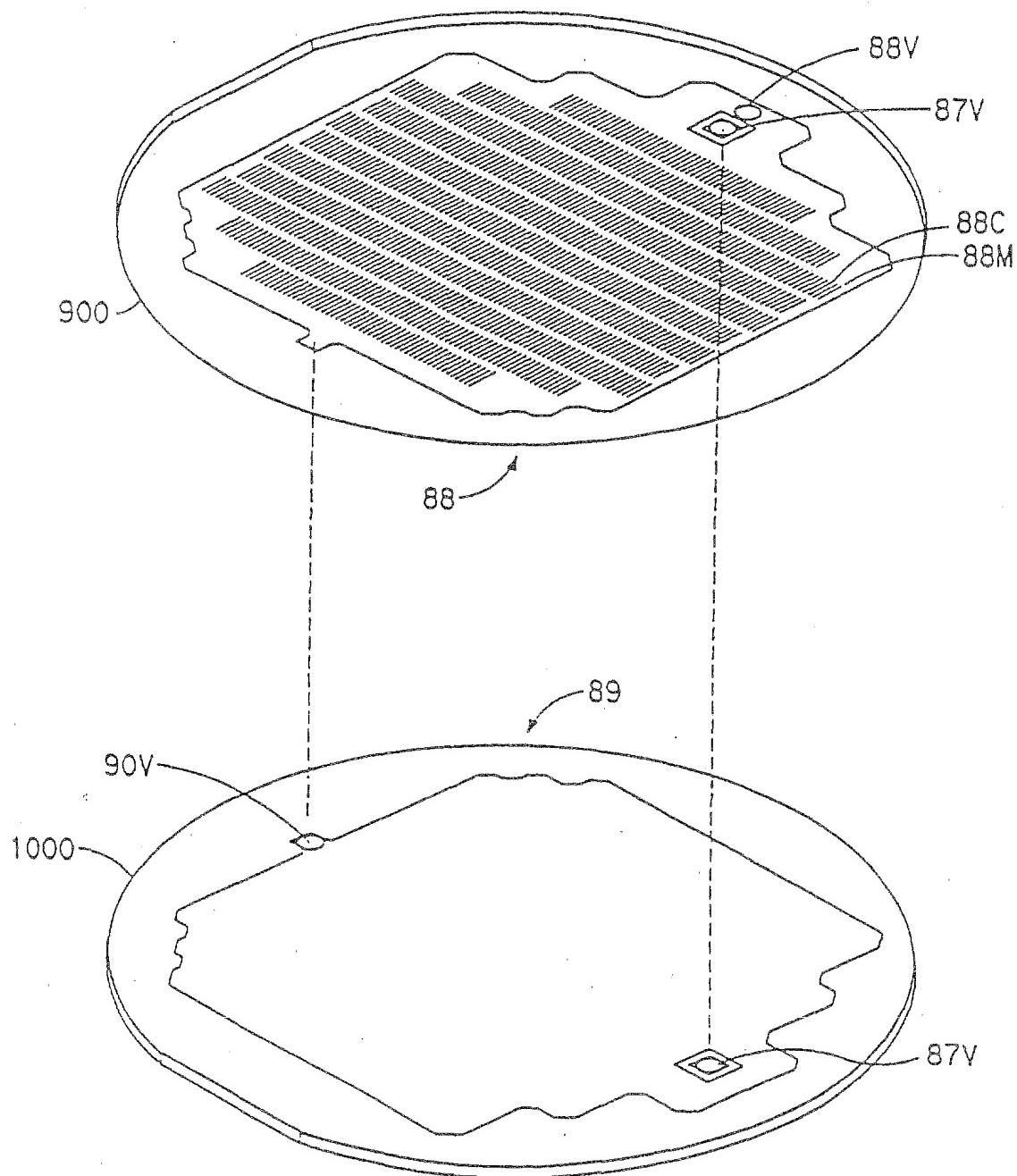


FIG. 15

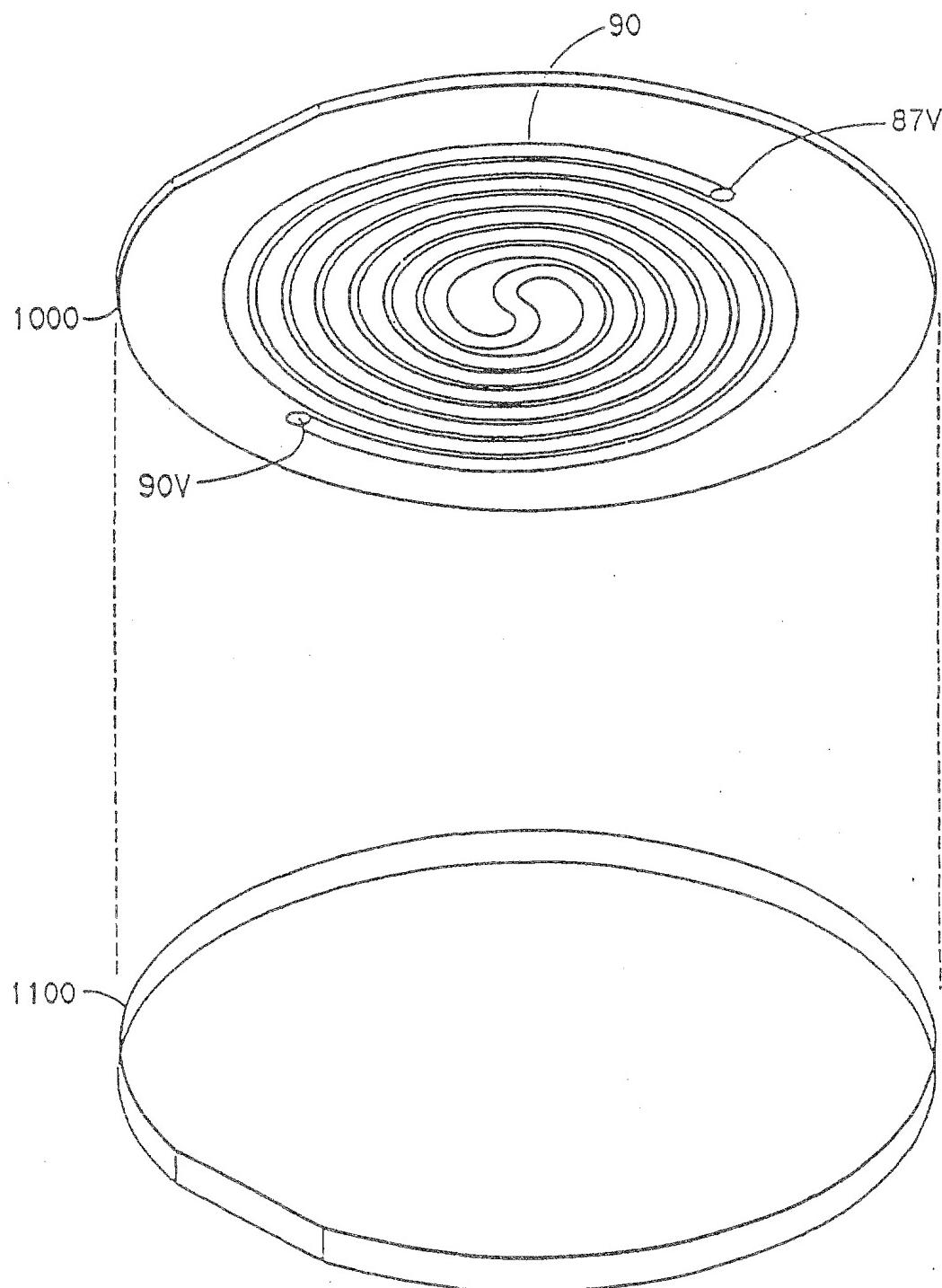


FIG. 16

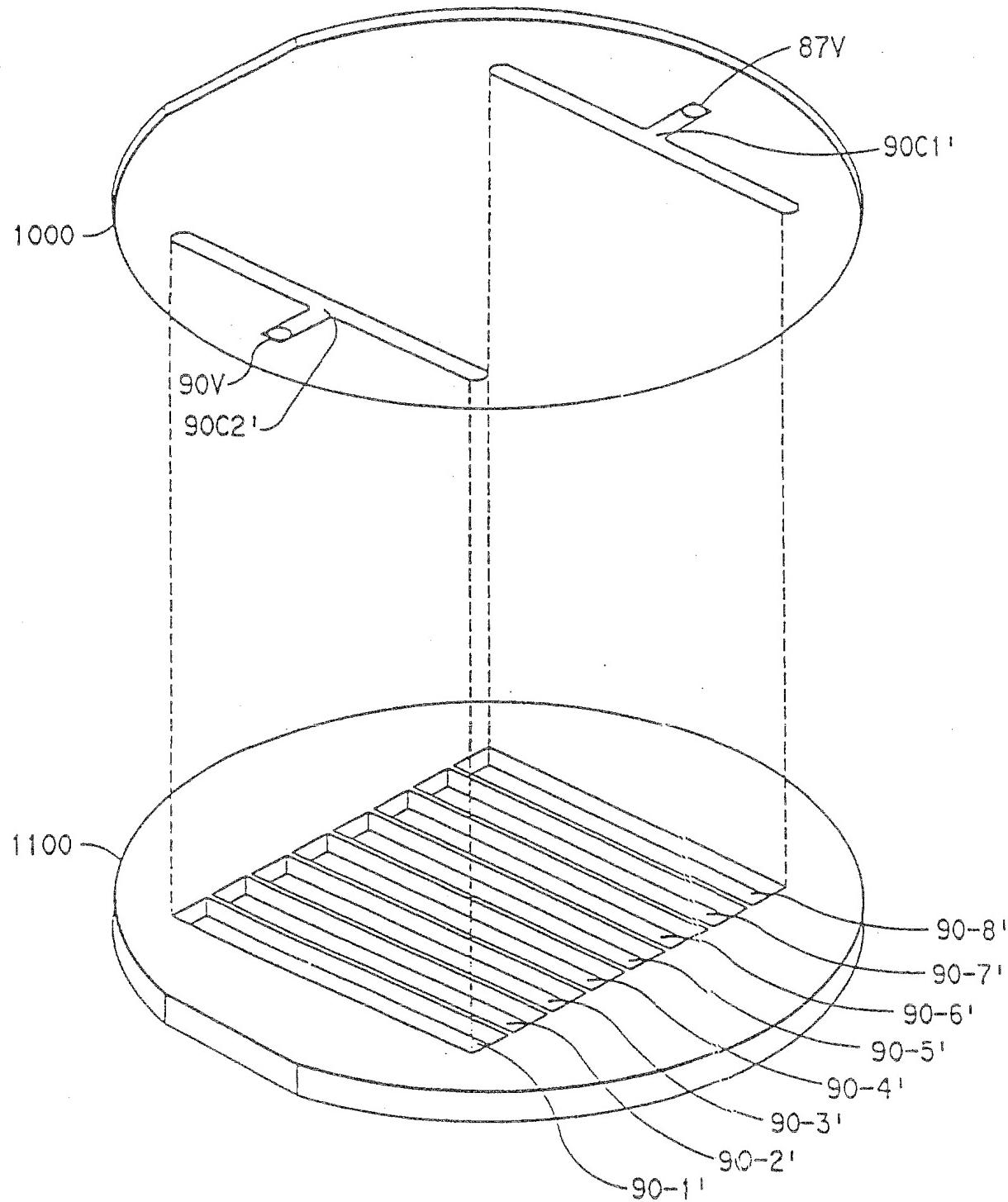


FIG. 17

